

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

Mayara Campos Lombardi

**Efeito da divergência fenotípica para eficiência alimentar no desempenho, termografia,
metabólitos sanguíneos e ruminais em bezerras Gir após o desaleitamento**

Belo Horizonte

2019

Mayara Campos Lombardi

**Efeitos da divergência fenotípica para eficiência alimentar no desempenho, termografia
e metabólitos sanguíneos e ruminais em bezerras Gir após o desaleitamento**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Zootecnia.

Área de concentração: Produção Animal

Orientadora: Sandra Gesteira Coelho

Coorientadores: Dr.^a Mariana Magalhães Campos
e Dr.^a Fernanda Samarini Machado

Belo Horizonte
2019

Ficha Catalográfica

L842e	<p>Lombardi, Mayara Campos, 1989</p> <p>Efeitos da divergência fenotípica para eficiência alimentar no desempenho, termografia e metabólitos sanguíneos e ruminais em bezerras Gir após o desaleitamento / Mayara Campos Lombardi - 2019 80p.: il.</p> <p>Orientador: Sandra Gesteira Coelho Dissertação de Mestrado apresentada na Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais.</p> <p>1-Bovinos de leite – Teses - 2 – bezerras - Gir - Teses 3 – dieta em veterinária – Teses – I. Coelho, Sandra Gesteira – II. Universidade Federal de Minas Gerais – III – Veterinária.</p> <p style="text-align: center;">CDD – 636.214</p>
-------	---

Bibliotecária responsável Cristiane Patrícia Gomes – CRB2569
Biblioteca da Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA
COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

"Efeitos da divergência fenotípica para eficiência alimentar no desempenho, termografia e metabólitos sanguíneos e ruminais em bezerras Gir após o desaleitamento "

Mayara Campos Lombardi

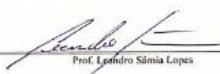
Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia 12 de fevereiro de 2019, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Minas Gerais, constituída pelos seguintes professores:



Dr. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira

Luiz Gustavo Ribeiro Pereira

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa



Prof. Leandro Sâmia Lopes

Leandro Sâmia Lopes

Universidade Federal de Minas Gerais



Prof. Sandra Gesteira Coelho

Sandra Gesteira Coelho - Orientador

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 12 de fevereiro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais (Cristina e Emilson), minha avó (Jacyra) e minha irmã (Júlia), por me escolherem para estar com eles e por todo o amor, determinação, apoio e confiança desde o nosso primeiro encontro;

Ao Robério, pelo apoio, compreensão, paciência e companheirismo para continuar a busca e realização de meus verdadeiros objetivos;

Aos familiares (em especial minha sobrinha Nayara preferida), amigos e professores por acreditarem que podemos conquistar o inimaginável com uma dose extra de empenho;

Ao parceiro de trabalho e estudos que acabou por se tornar também parceiro de vida, Hilton Diniz;

Aos colaboradores da Embrapa Gado de Leite que nos auxiliaram na condução do experimento e a todos os estagiários e amigos que nos ajudaram nos momentos de dificuldade e muito trabalho;

À pesquisadora e coorientadora Mariana Magalhães Campos, pela disponibilidade, oportunidade e prontidão para nos ajudar com tudo o que foi necessário;

Ao pesquisador Luiz Gustavo Ribeiro Pereira pelas relevantes contribuições e disponibilidade para participar da banca examinadora;

À coorientadora Fernanda Samarini Machado e pesquisador Thierry Ribeiro Tomichi pela possibilidade de trabalharmos juntos e as sugestões ao longo do experimento;

À profa. Fabíola Paes Leme pela disponibilidade e auxílio;

Ao prof. Leandro Sâmia Lopes pelas importantes contribuições e disponibilidade em participar da banca examinadora;

Ao prof. Helton Mattana Saturnino pelo convívio e toda ajuda;

À Escola de Veterinária da UFMG e aos colaboradores;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Gado de Leite) pelo suporte financeiro que possibilitou a realização dessa pesquisa;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo suporte financeiro para realização dessa pesquisa e concessão de bolsa de mestrado;

Em especial à orientadora Sandra Gesteira Coelho, que desde a primeira aula no 5º período do curso de Medicina Veterinária, mesmo sem querer, mudou completamente o rumo da minha graduação e da minha vida. Obrigada por ser um grande exemplo de pessoa e profissional até hoje, o que me fez ver que não estava no caminho profissional em que eu queria e deveria estar por duas vezes, e por ter oferecido novamente a oportunidade do convívio para que eu finalmente encontrasse a direção certa;

A todos que contribuíram de alguma forma para que essa grande etapa fosse construída;

Finalmente, a essa Força incrível, para alguns chamada Deus, por colocar cada uma dessas pessoas presente nos momentos certos para que chegássemos até aqui. Sem ela nada do que foi citado teria sido possível.

“... Hoje me sinto mais forte

Mais feliz, quem sabe

Só levo a certeza

De que muito pouco eu sei

Ou nada sei...”

Almir Sater e Renato Teixeira

Resumo

Os objetivos deste estudo foram: 1) identificar e classificar animais fenotipicamente divergentes quanto ao consumo alimentar residual (CAR) quanto à sua eficiência (alta - AE ou baixa - BE); 2) avaliar suas relações com a termografia infravermelha, desempenho, comportamento ingestivo e parâmetros ruminais e sanguíneos em novilhas Gir; 3) determinar se tais medidas podem ser usadas como marcadores de eficiência alimentar durante a criação da novilha. Foram utilizadas 38 novilhas, 143 d \pm 4 (média \pm DP) de idade e 108,7 kg \pm 17,9 de peso corporal. Os animais foram alimentados com dieta total durante 91 dias de ensaio. Foi observada variação entre -0,358 kg / d (AE) e 0,337 kg / d (BE) no CAR. O consumo de matéria seca (CMS) foi menor no AE: 2,5 kg CMS / d vs. 3,1 kg CMS / d, assim como o número de visitas ao cocho eletrônico (59 vs. 71). Juntamente com a ingestão de água, essas foram as medidas que melhor funcionaram como marcadores de divergência no CAR. Os parâmetros ruminais, metabólitos sanguíneos, hormônios sanguíneos, bem como as demais variáveis do comportamento ingestivo e a termografia infravermelha não foram capazes de predizer os animais AE ou BE.

Palavras-chave: bases biológicas, eficiência alimentar, ingestão de água, produção animal, sustentabilidade.

Abstract

The objectives of this study were: 1) to identify and rank phenotypically divergent animals for residual feed intake (**RFI**) regarding their efficiency (high – **HE** or low – **LE**); 2) to evaluate their relationships with infrared thermography, performance, ingestive behavior, and ruminal and blood parameters in Gyr heifers; 3) to determine if such measurements can be used as feed efficiency markers during rearing heifer. Thirty-eight heifers, $143 \text{ d} \pm 4$ (Mean \pm SD) of age and $108.7 \text{ kg} \pm 17.9$ of body weight were used. The animals were fed with a total mixed ration during 91 d of a trial. A variation between -0.358 kg/d (**HE**) and 0.337 kg/d (**LE**) was observed. Dry matter intake (**DMI**) was lower in the **HE**: 2.5 kg DMI/d vs. 3.1 kg DMI/d , as well as the number of visits to the feed bin with consumption (59 vs. 71). Along with water intake, these were the measures that best functioned as markers of divergence in RFI. The ruminal fermentation variables, blood metabolites, blood hormones, such as the other ingestive behavior variables, and infrared thermography were not able to accurately predict **HE** or **LE** animals.

Keywords: animal production, biological basis, feed efficiency, sustainability, water intake.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – Revisão Bibliográfica

- Tabela 1 - Índices utilizados para mensuração de eficiência alimentar18
- Tabela 2 - Correlação fenotípica e genotípica de altura de quadril e circunferência torácica com CMS, GMD, CAR, CGR e GPR26
-

CAPÍTULO 2 - Artigo

- Table 1 - Nutritional composition (dry matter basis, % unless otherwise noted) of concentrate, corn silage and total mixed ration offered to heifers during trial period.....44
- Table 2 - Means of the indexes, intake and performance evaluated for HE and LE in RFI, standard error of the mean (SEM) and group interaction (HE or LE) in dairy heifers phenotypically classified for RFI.....51
- Table 3 - Ingestive behavior, ruminal fermentation, blood parameters and infrared thermography in HE and LE dairy heifers phenotypically classified for RFI.....53
- Table 4 - Phenotypic correlation of DMI, ADG, and RFI with the performance indexes and evaluated variables in dairy heifers phenotypically classified for RFI.....55
-

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCGIL	- Associação Brasileira dos Criadores da Raça Gir
AE	- Alta eficiência
AGNE	- Ácidos graxos não esterificados
AGV	- Ácidos graxos voláteis
BE	- Baixa eficiência
BHB	- Beta-hidroxibutirato
CA	- Conversão alimentar
CAR	- Consumo alimentar residual
CGR	- Consumo e ganho residual
CMS	- Consumo de matéria seca
CZ	- Cinzas
EA	- Eficiência alimentar
EB	- Energia bruta
EE	- Extrato etéreo
Em	- Energia de manutenção
FAO	- Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FDN	- Fibra em detergente neutro
FVB	- Frequência de visitas no bebedouro
FVC	- Frequência de visitas no cocho
GMD	- Ganho de peso médio diário
h^2	- Herdabilidade
ha	- Hectare
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGF1	- Hormônio do crescimento semelhante à insulina
Kg	- Quilos
MS	- Matéria seca
N-NH ₃	- Nitrogênio amoniacal
PB	- Proteína bruta
pH	- Potencial hidrogeniônico
PV	- Peso vivo
TCB	- Tempo em consumo no bebedouro
TCC	- Tempo em consumo no cocho
TIV	- Termografia infravermelha
TTB	- Tempo total no bebedouro
TTC	- Tempo total no cocho

SUMÁRIO

	Página
INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA.....	15
1.1 Gir leiteiro	16
1.2 Eficiência alimentar e índices usados para aferição	17
1.3 Consumo alimentar residual em animais jovens	21
1.4 Ganho de peso residual como medida de eficiência alimentar	23
1.5 Consumo e ganho residual como índice de eficiência alimentar	24
1.6 Medidas corporais lineares e associação com eficiência alimentar	25
1.7 Comportamento ingestivo e associação com eficiência alimentar	27
1.8 Parâmetros ruminais e associação com eficiência alimentar	28
1.9 Metabólitos sanguíneos e associação com eficiência alimentar	29
1.10 Termografia infravermelha e associação com eficiência alimentar	31
2 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
CAPÍTULO 2 - Phenotypic divergence for residual feed intake affects biological and behavioral variables in rearing dairy heifers	41
Abstract.....	41
Introduction.....	41
Material and Methods.....	42
Results and Discussion.....	50
Conclusions	59
Acknowledgements	59
Conflicts of Interest.....	59
References	59
Apêndice.....	65

INTRODUÇÃO

Atualmente, há 7,6 bilhões de pessoas no mundo e a perspectiva é que haja incremento de 38,15% da população mundial até o ano de 2067 (Britt et al., 2018). Segundo a FAO (2018), mais de 6 bilhões de pessoas consomem leite e derivados. A população atual demanda produção anual de 661,2 bilhões de kg de leite. Em 2016, foram produzidos no mundo 659,2 bilhões de litros de leite bovino, por um contingente de 274 milhões de vacas. Esse valor representa 83% do leite total produzido por bovinos, ovinos, caprinos, bubalinos e camelídeos (FAO, 2016; Britt et al., 2018).

Estima-se que o aumento da população para o próximo meio século levará à necessidade de aumento de 100% da produção de leite global atual (Britt et al., 2018). Nesse contexto, a eficiência alimentar de diversas espécies de animais domésticos tem sido estudada. Em bovinos, os estudos de eficiência alimentar ganharam força e se intensificaram a partir dos anos 90 (Richardson et al., 1996; Arthur et al., 2001a; Archer et al., 2002).

Um dos índices mais estudados foi a conversão alimentar, que acabou por conduzir à seleção de animais grandes, mais pesados, e por isso, com maior exigência de manutenção. No cenário atual, a busca é por animais produtivos, porém rentáveis, com exigência de manutenção baixa, que permitam economia no custo com alimentação sem implicar em perda produtiva (Herd et al., 2004; Branco et al., 2009).

Para tanto, tem-se estudado fortemente índices, métricas e parâmetros que permitam selecionar animais mais eficientes do ponto de vista do metabolismo energético em países como Austrália, Canadá, Estados Unidos e Brasil (Montanholi et al., 2009; Lanna e Almeida, 2014; Leão et al., 2018). Dessa forma, a seleção irá buscar cada vez mais os animais capazes de ganhar peso, crescer e produzir com o menor consumo de alimento possível. Por esse motivo, consumo alimentar residual, ganho de peso residual e consumo e ganho residual são índices que tem sido fortemente investigados nas pesquisas (Berry e Crowley, 2013).

Esses índices são calculados de forma individual dentro de um grupo de animais com características semelhantes, em geral mesma raça, idade, sexo e porte. A partir dos valores individuais calculados para um grupo, os animais são então ranqueados e comparados com a média para aquela população, e assim classificados em alta, média e baixa eficiência (VandeHaar e Tempelman, 2017).

No entanto, ainda há dificuldade em compreender como os mecanismos biológicos interferem na classificação dos animais para esses índices, em especial o consumo alimentar

residual, que é o mais utilizado nos trabalhos científicos. Por isso, ainda se faz necessário estudar parâmetros de desempenho, fisiológicos e de saúde na busca por sua melhor compreensão.

CAPÍTULO 1

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Gir leiteiro

A raça Gir chegou ao Brasil em 1906 e foi por anos vista como de dupla aptidão (Leão et al., 2013). Por esse motivo, durante muito tempo não se investiu no Gir como base de cruzamento para gado leiteiro, apesar de seu uso em cruzamentos no país ocorrer desde meados de 1930. Naquele momento, o objetivo dos cruzamentos era conferir ao Holandês maior resistência aos desafios ambientais (Berman, 2011).

Adaptação ambiental a climas tropicais são características endógenas de espécies de animais oriundas dessas regiões. O gado zebuino, portanto, é fisiologicamente mais adaptado a climas quentes que o gado proveniente de zonas temperadas (Berman, 2011). Acredita-se que a capacidade de se adaptar fisiológica e morfológicamente sejam mecanismos evolutivos para compensar alterações dos sistemas e funções do organismo em indivíduos submetidos a condições estressantes.

A partir de 1940, bons touros e vacas Gir passaram a ser selecionados e dar origem ao gado Gir de aptidão leiteira, que atualmente é o gado zebuino de maior produção leiteira em regiões tropicais (ABCGIL, 2018). Em 1985 surgiu o programa de melhoramento genético da raça Gir, oriundo de parceria entre Associação Brasileira dos Criadores de Gir Leiteiro (ABCGIL), Associação Brasileira dos Criadores de Zebu (ABCZ) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Gado de Leite (Embrapa Gado de Leite), denominado Programa Nacional de Melhoramento do Gir Leiteiro (PNMGL). O objetivo do PNMGL é avaliar e selecionar animais para maior incremento de características produtivas na raça e em seus produtos de cruzamento.

Com o surgimento dessas linhagens, a frequência de cruzamentos do Gir leiteiro com raças europeias se expandiu ainda mais no Brasil, destacando-se com maior frequência o cruzamento com a raça Holandês (Leão et al., 2013). Portanto, o Gir leiteiro é uma subpopulação dentro do contingente total de bovinos Gir existentes, e possui participação na composição genética em aproximadamente 80% dos rebanhos brasileiros (Embrapa, 2018).

Filho et al. (2010) realizaram estudo para verificar a estrutura populacional do rebanho Gir leiteiro no Brasil, baseada em 27.600 observações de registro e encontraram intervalo médio de gerações de touros e vacas de 8,41 anos. Este resultado é decorrente dos testes de

progênie realizados pelo PNMGL, em que é preciso esperar que um reprodutor seja provado, através da observação da vida produtiva de sua prole.

Contudo, tratando-se de melhoramento genético e do seu objetivo de realizar cruzamentos cada vez mais capazes de aumentar a produtividade, longevidade e eficiência dos animais de produção, esse intervalo corresponde a um longo período de espera para visualização de resultados e tomada de decisões.

Dessa forma, se faz necessário o conhecimento da maior variedade possível de parâmetros biológicos que possam refletir e predizer o valor genético e a expressão fenotípica dos mesmos nos animais (Leão et., 2013).

Devido ao destaque e relevância do Gir leiteiro na bovinocultura de leite brasileira, esses animais merecem atenção por parte dos pesquisadores e devem ser estudados em relação aos seus parâmetros de eficiência.

Através dessas observações é possível a seleção antecipada de exemplares da população e redução do intervalo de gerações, fato indispensável para constante e rápida melhoria das condições fisiológicas e metabólicas nos animais. A partir disso, manter os programas de melhoramento genético e selecionar animais que permitam maior sustentabilidade e rentabilidade dos sistemas de produção e do ambiente aos quais estão submetidos.

1.2 Eficiência alimentar e índices usados para mensuração

O estudo da eficiência alimentar (EA) abrange características relativas ao animal e ao meio em que este está inserido. Por esse motivo, EA não define uma única medida, mas sim, um conjunto de conceitos e índices que podem ser mensurados ou calculados a partir de outras observações e que traduzem medidas de relação entre consumo de matéria seca (CMS) e gasto com manutenção, crescimento e produção.

Dentre esses índices mensuráveis e calculáveis estão: CMS, conversão alimentar (CA), ganho de peso médio diário (GMD) e outros, usados em diversos setores pecuários como base para seleção de animais mais eficientes (Tabela 1).

Tabela 1. Índices utilizados para mensuração de eficiência alimentar

Índice	Abreviação	Definição	Fórmula	Referência
Consumo de matéria seca	CMS	Consumo diário de alimento (kg de MS ¹)		Archer et al. (1997)
Eficiência alimentar bruta	EAB	Kg de peso vivo ganho para cada kg de alimento ingerido (MS)	GMD/CMS	Archer et al. (1997)
Conversão alimentar	CA	Consumo alimentar por unidade de ganho de peso (kg)	CMS/GMD	Archer et al. (1997)
Consumo alimentar residual	CAR	Resíduo de consumo (kg/d) com base no consumo estimado para manutenção, produção/crescimento obtido por regressão do CMS médio, $PV^{0,75}$ e GMD	$CMS_{obs}^2 - CMS_{est}^3$	Koch et al. (1963)
Ganho de peso residual	GPR	Resíduo da regressão com base no GMD estimado pelo CMS e $PV^{0,75}$	$GMD_{obs}^4 - GMD_{est}^5$	Berry e Crowley (2012)
Consumo e ganho residual	CGR	Medida linear combinada do CAR e GPR, determina os animais com menor consumo e melhor ganho	$-CAR + GPR$	Berry e Crowley (2012)
Taxa de crescimento relativo	TCR	Avalia a taxa de crescimento com base nos pesos final e inicial em relação aos dias em teste	$100 \times [\log_n(PV_{final}^6) - \log_n(PV_{inic}^7)] / \text{dias em prova}$	Kelly et al. (2010)
Razão de Kleiber	RK	Razão de GMD em função do $PV^{0,75}$, valores de RK maiores determinam diluição da Em^8 para o crescimento	$GMD / PV^{0,75}$	Kelly et al. (2010)

MS¹: matéria seca; CMS_{obs}²: consumo de matéria seca observado; CMS_{est}³: consumo e matéria seca estimado; GMD_{obs}⁴: ganho de peso médio diário observado; GMD_{est}⁵: ganho de peso médio diário estimado; PV_{final}⁶: peso vivo final; PV_{inic}⁷: peso vivo inicial; Em⁸: energia de manutenção.

Previamente, foi sugerida por Dickerson (1978) a eficiência biológica, que considerava valores de *input* e *output*, a nível do sistema de produção, de forma que o primeiro se relaciona ao alimento consumido e o segundo, ao produto gerado. Portanto, a EA, recentemente adotada na bovinocultura, especialmente a de corte, pode ser vista como forma de ter acesso a esses valores.

Suas aplicações permitem a identificação precoce de indivíduos mais e menos eficientes e por conseguinte, sua seleção ou eliminação dos rebanhos e programas de cruzamento e melhoramento genético. Sabe-se que quando comparamos bovinos da raça Holandês com demais raças zebuínas como o Gir, esses últimos apresentam limitação de consumo de alimento, o que responde em parte pela menor produtividade, mesmo em animais selecionados para leite (Berman, 2011).

A capacidade de CMS, perfil de fermentação, produção de ácidos graxos voláteis (AGV) no rúmen, digestibilidade, capacidade de absorção e aproveitamento de nutrientes e perfil hormonal são fatores relacionados à EA. Dessa forma, outras medidas de EA podem ser estudadas quanto à sua aplicação sobre as características biológicas dos animais (Kelly et al., 2010; Berry e Crowley, 2013; Karisa et al., 2014).

A EA é amplamente estudada em suinocultura, avicultura e bovinocultura de corte, setores agropecuários de forte influência no Brasil, e inegável participação no produto interno bruto brasileiro. Muitos estudos foram conduzidos com foco na capacidade de CA dessas espécies, que demonstraram a importância da EA como medida de aproveitamento, rendimento e sustentabilidade financeira dos sistemas de criação (Herd et al., 2004).

Contudo, segundo Branco et al. (2009), a CA usada por muitos anos para seleção de animais com maior capacidade de converter MS consumida em ganho de peso, pode não ser muito favorável para os sistemas de produção. Baseado no fato de que animais com maior capacidade de CA terão maior peso à idade adulta, ou maior peso em determinada faixa etária quando comparados a animais de baixa CA, essa medida não é uma boa escolha para seleção de animais mais eficientes. Animais mais pesados irão consumir proporcionalmente mais alimento, devido à maior exigência de manutenção. Tal fato caminha na contramão do propósito da seleção de animais eficientes, que é justamente a de reduzir os custos com alimentação enquanto se obtém a mesma quantidade de produto

Em bovinocultura de leite, outro setor importante em nosso país, os estudos em EA são poucos e recentes. Essas medidas representam oportunidade e podem ser de grande valia, visto que em sistemas de criação de bovinos leiteiros a alimentação representa a maior porção nos

cálculos de custos variáveis (Bonilha et al., 2015). Em produção animal, o ideal é pensar em animais menores com maior capacidade produtiva.

A melhoria da EA e seleção de animais capazes de transformar MS ingerida em energia para crescimento, manutenção e produção foi responsável pelo aumento da produtividade das vacas em rebanhos comerciais nos últimos anos. Uma alternativa à CA é o consumo alimentar residual (CAR), sugerido por Koch et al. (1963), por não ser uma medida dependente do peso à idade adulta. O CAR é calculado pela diferença entre o consumo observado e o consumo estimado (o cálculo do consumo esperado em MS para um indivíduo é realizado por equação de regressão que considera o PV no meio da prova, $PVkg^{0,75}$ correspondente e ganho de peso diário; desse resultado subtrai-se o CMS observado) de determinado indivíduo.

Assim, os animais podem ser classificados em alto, médio e baixo CAR, de forma que os valores de CAR positivos representam animais menos eficientes, que consumiram mais do que o esperado para sua condição, e os animais de CAR negativo aqueles mais eficientes, que consumiram menos que o estimado para sua condição (Koch et al., 1963). Diante disso, seria possível identificar animais eficientes que não necessariamente teriam maior peso e exigências na vida adulta.

Vários aspectos da alimentação devem ser considerados ao se falar em EA, pois a mesma irá depender da composição da dieta, ingredientes, quantidade ingerida, bem como a própria mensuração do consumo (VandeHaar e Tempelman, 2017). A avaliação individual de consumo é um dos maiores entraves às pesquisas relacionadas ao CAR (Branco et al., 2009; Pereira et al., 2015).

De acordo com VandeHaar e Tempelman (2017), em vacas em produção é possível mensurar a EA considerando exigências de manutenção, CMS e patamar de produção, mas em animais jovens é possível mensurá-la pelo CAR. Conhecer esses valores pode permitir ajustar as dietas por grupos de animais. No caso dos animais classificados pelo valor de CAR, por exemplo, é possível fornecer dietas diferentes para os animais na propriedade através do uso de nutrientes que sabidamente serão aproveitados pelo animal, de acordo com seu metabolismo e capacidade ingestiva e digestiva.

Esses dados permitem trabalhar com múltiplas formulações de dieta ou dieta única, porém nesse último caso, suplementar individualmente os animais. Dessa forma, reduzir custos com alimentação nas diversas fases do ciclo produtivo, além de sustentabilidade financeira para o sistema, pode trazer também sustentabilidade ambiental com menor volume de dejetos, menor desperdício de alimento e menor utilização de indústria para produção de insumos (Pereira et al., 2014; VandeHaar e Tempelman, 2017).

1.3 Consumo alimentar residual em animais jovens

O CAR não parece estar ligado ao ganho de peso ou peso à idade adulta. Logo, abre possibilidade para seleção de animais eficientes e com menores peso à idade adulta e exigência de manutenção. Contudo, essa teoria foi negligenciada por anos pela bovinocultura, e recentemente, diversos pesquisadores na Austrália e Canadá e posteriormente EUA e Brasil passaram a utilizá-la (Montanholi et al., 2009).

O objetivo de selecionar animais com base em CAR é identificar animais capazes de consumir menor quantidade de MS e apresentar resultados em desempenho semelhantes ou superiores àqueles que consumiram mais, sem levar ao incremento da energia de manutenção.

A partir dessa identificação, esses animais poderiam ser usados em programas de melhoramento genético. Através disso, proporcionar redução, a médio e longo prazo, do custo expressivo com alimentação e desperdício de nutrientes, maximizar a eficiência econômica dos sistemas de produção e amenizar os impactos causados ao meio ambiente pelo setor pecuário.

Com intuito de inserir o CAR nos programas de avaliação genéticos e de melhoramento no Brasil, criadores e instituições realizam provas de EA em busca de banco de dados de medidas e desempenho, associados a parâmetros biológicos com potencial para se tornarem biomarcadores. A obtenção desse banco de dados favorecerá o desenvolvimento de métodos mais baratos e eficientes de identificar os animais de baixo CAR, e assim passar a usar essa característica de forma mais incisiva nos programas de seleção.

A duração da prova de CAR deve ser de no mínimo 70 dias, para minimizar os efeitos do tempo sobre o peso vivo, já que o CMS não oscila tanto nesse período. Com isso, é encontrado tempo de prova nas publicações entre 70 e 90 dias (Lanna e Almeida, 2004). Em geral, as classificações em alto e baixo CAR baseiam-se em desvios de 0,5 em relação à média encontrada para o CAR em determinado grupo de avaliação (0,5 acima da média = alto CAR, baixa eficiência; 0,5 abaixo da média = baixo CAR, alta eficiência) (Manafiazar et al., 2015). O CAR permitiria prever os animais mais eficientes dentro de um grupo de indivíduos de características raciais semelhantes, para uma mesma idade.

Uma característica observada do CAR é importante para sua aceitação nos programas de melhoramento genético de bovinos é a herdabilidade (h^2). Segundo VandeHaar e Tempelman (2017), o CAR é uma característica parcialmente individual, visto que apresenta h^2 considerada moderada. Tempelman et al. (2015) relataram h^2 de 0,17, enquanto em revisão de literatura Lanna e Almeida (2004) citaram valores médios entre 0,30 a 0,35. Parte da variação é devida

à características do indivíduo quanto aos seus padrões nutricionais e de digestibilidade, bem como características da dieta fornecida, raça, idade e sexo (VandeHaar e Tempelman, 2017).

Archer et al. (2002) sugerem que o CAR de animais jovens, após o desaleitamento pode ser usado para inferir sobre o CAR dos animais adultos, devido à correlação encontrada de 0,98. Este fato permite supor que alguma regulação endócrina e/ou metabólica seja semelhante nos animais após o período de aleitamento, dessa forma, permitiria selecionar os animais ainda jovens para essa característica.

Branco et al. (2009) avaliaram 121 bovinos Nelore com idade média de 211 dias e peso médio de 199 kg durante 112 dias de prova de EA. Os animais foram classificados em alto (maior que a média + 0,5 DP; n=36), médio ($\pm 0,5$ DP da média; n=45) e baixo (menor que a média - 0,5 DP; n=40) CAR. Não houve diferença no peso final, CMS em kg/dia e GMD. Entretanto, foi observada vantagem dos animais baixo CAR em CMS (em %PV), CMS (em g/kg^{0,75}), CA e EA. A variação encontrada para os valores de CAR foi de -0,67 a 0,95 kg/d.

Montanholi et al. (2010), ao estudarem CAR em 91 bovinos das raças Angus x Simental, Charolês e Piemontês relataram variação ainda maior, de -1,15 a 1,92 kg/d. Os resultados desses estudos sugerem que há uma grande variação na EA em animais de diversas raças e composições genéticas. Logo, o CAR tem se mostrado uma boa ferramenta como alternativa aos meios comumente utilizados para aferir EA em bovinos.

Diante dessa variação, em gado de corte, animais eficientes podem consumir em torno de 400 kg a menos de MS na fase de confinamento (Montanholi et al., 2010). Lam et al. (2017), ao determinarem os bovinos mais eficientes em uma população de 42 novilhos e 16 touros mestiços (raças europeias de corte) encontraram economia de 216 kg de MS por animal, em um período de teste de 120 dias.

Contudo, alguns pontos da seleção baseada em CAR apresentam desvantagem, como o alto custo de equipamentos para aferição do consumo individual ou utilização de mão de obra para este fim. O maior desafio para as propriedades seria incorporar um sistema capaz de realizar essa mensuração. No entanto, a modernização do campo e o crescente uso de tecnologias tem permitido a utilização de ferramentas de mensuração do consumo individual, além de outros parâmetros relacionados à saúde e desempenho (Pereira et al., 2015; Britt et al., 2018; Oliveira et al, 2018).

Lanna e Almeida (2004) apresentaram estimativas de custos da implantação de sistemas de coleta de dados contra o retorno financeiro deste investimento no Brasil. Os resultados da estimativa são animadores. Os autores assumiram redução anual no consumo de alimentos em 1,3%, baseada em desvio padrão fenotípico, h^2 , intervalo de gerações e pressão de seleção sobre

machos e fêmeas de corte. Para uma situação de custo de R\$ 40,00 / 1000kg de MS e 20% de implantação tecnológica, o retorno seria de R\$ 64 milhões no primeiro ano. Valor semelhante a dados australianos, que estimaram retorno de US\$ 80 milhões anuais sobre valor de US\$ 85 milhões investidos em pesquisas nessa área.

A maioria dos estudos em gado de corte foi realizado com bovinos de origem europeia. Embora existam estudos que abordaram os processos regulatórios relacionados à EA, os mecanismos biológicos que levam à diferença de CAR entre os animais não estão elucidados (Herd et al., 2004; Berry e Crowley, 2013). Se faz necessário estudar os impactos dessa seleção em bovinos zebuínos, assim como ampliar as pesquisas na bovinocultura de leite, onde já existem alguns dados sobre a utilização do CAR como medida de EA (Montanholi et al., 2009; Montanholi et al., 2010; Berry e Crowley, 2013).

1.4 Ganho de peso residual como medida de eficiência alimentar

O ganho de peso residual (GPR), assim como o CAR, foi sugerido por Koch et al. (1963) como alternativa para mensuração da EA. Este parâmetro representa o ganho de peso de um indivíduo em relação ao que era estimado para ele, ajustado para $PV^{0,75}$ e CMS. Logo, assim como no CAR, os animais podem ser classificados em baixo, médio e alto GPR, porém o animal de baixo GPR será aquele que ganhou menos peso do que o esperado. Portanto, em GPR, os animais mais eficientes são os que apresentam valores numéricos mais altos e positivos (Berry e Crowley, 2013).

Crowley et al. (2010) relataram h^2 de 0,28 para GPR e correlação de 0,70 com taxa de crescimento, que sugere a seleção de animais maiores quando se utiliza o GPR como critério. Estudos recentes tem utilizado o GPR associado ao CAR para identificação de animais eficientes e comparação de parâmetros de desempenho. Foram encontradas correlações fenotípica e genética entre GPR e CAR de -0,40 e -0,46, respectivamente (Berry e Crowley, 2013).

Ceacero et al. (2016) relataram menor h^2 para o GPR do que para CAR (0,19 vs. 0,24) e encontraram correlação genética do GPR com maiores taxas de crescimento ($r = 0,34$), diferente do CAR, que obteve correlação baixa. Foi esperado que a correlação com CAR seria menor devido ao fato de os animais eficientes em CAR consumirem menos, já que o CMS está ligado ao tamanho e peso dos animais.

Porém, Berry e Crowley (2013) sugeriram que devido à relação fenotípica positiva com o GMD, o GPR poderia selecionar animais que consumissem mais do que os animais

classificados para baixo CAR, mas que isso não alteraria o consumo total de alimento para um dado período.

Leão et al. (2018) classificaram bezerras Holandês x Gir para CAR e GPR. O GPR variou de -0,07 kg/d a 0,05 kg/d. Foi encontrada correlação de 0,15 entre GPR e GMD. O peso ao nascimento, peso no início e fim do período de teste não diferiram entre os grupos baixo e alto GPR. O CMS também não diferiu (1,13 kg para alto GPR e 1,23 para baixo GPR; $P = 0,61$).

Tais achados podem indicar que o GPR representaria vantagem por levar em consideração o GMD sem proporcionar a seleção de animais maiores. Esse tipo de fenótipo interessaria à indústria, especialmente da carne, já que os animais teriam menor CMS associado a bom desempenho.

1.5 Consumo e ganho residual como índice de eficiência alimentar

O CAR pode não ser o melhor parâmetro para identificar animais eficientes de forma isolada por não estar associado ao peso à idade adulta nem à taxa de crescimento. O uso do CAR como forma única de seleção pode identificar os animais que consomem menos, mas não necessariamente os que se desenvolvem melhor ao consumir menos, os chamados animais de crescimento lento. Por isso, Berry e Crowley (2012) sugeriram o uso de uma medida combinada de consumo e ganho residual (CGR), a fim de contornar esse inconveniente.

O CGR é calculado por uma equação linear que considera o CAR, multiplicado pelo fator de correção -1 , somado ao GPR. Valores de CGR mais altos e positivos representam os animais mais eficientes para essa característica. O estudo foi conduzido com 2.605 touros de raças europeias. Foram avaliados CAR, GPR, CGR e sua correlação com GMD, CMS e peso vivo. A h^2 do CGR foi de 0,36, semelhante à h^2 do CAR nesse e em outros estudos (Lanna e Almeida, 2004; VandeHaar e Tempelman, 2017), o que viabiliza sua utilização em programas de seleção. Entretanto, Grion et al (2014) ao estudar machos e fêmeas jovens da raça Nelore, encontraram h^2 para CGR de 0,19. Mesmo assim, sugeriram a utilização do CGR como ferramenta útil para ser aplicada como critério de seleção devido às suas características.

Como esperado pela combinação linear do CAR e GPR, Berry e Crowley (2012) apontaram que o CGR foi positivamente correlacionado com GMD e GPR (0,83), e negativamente correlacionado com CMS e CAR (-0,87). Com isso, uma seleção baseada no CGR tende a priorizar animais com maior GMD e menor CMS. Os autores demonstraram vantagem em se utilizar o CGR em detrimento do CAR e GPR isoladamente, assim como Grion et al. (2014). Para a indústria da carne, fenótipos de CGR favorável são de maior interesse. O

principal objetivo do CGR é evitar a identificação errônea de animais de baixo ou lento desempenho como eficientes (Berry e Crowley, 2013; Grion et al., 2014).

Semelhante ao que ocorre para carne, na bovinocultura de leite animais menores e produtivos são de maior interesse, porém, a composição e a taxa de ganho irão afetar sua capacidade produtiva. Sabe-se que para uma mesma raça, animais maiores produzem mais, mas também demandam maior energia para sua manutenção. Logo, é de interesse dos setores pecuários o desenvolvimento e utilização de métricas que se aproximem o quanto for possível dessa realidade.

No estudo de Berry e Crowley (2012), o CGR variou de -1,63 a 1,60 e o CAR de -0,71 kg/d a 0,70 kg/d ($P < 0,001$). Os animais classificados em valores de CGR mais positivos (mais eficientes) precisaram de 30 dias a menos que os animais eficientes para CAR para alcançarem ganho de 300 kg (146 d vs. 176 d). O GMD foi de 2,06 kg vs. 1,71 kg para os animais alto CGR e baixo CAR, respectivamente, que resultou em diferença de 173 kg de MS consumida por animal (1.446 kg alto CGR vs. 1.619 kg baixo CAR).

Por ser um parâmetro sugerido recentemente, ainda são poucos os estudos de eficiência alimentar com análise do CGR (Grion et al. 2014). Favero et al. (2015) analisaram CGR (variação de CGR de -0,69 a 0,65; $P < 0,001$) e CAR (-0,62 kg MS/d a 0,64 kg MS/d; $P < 0,001$) em 24 tourinhos Brahman. Ao contrário de Berry e Crowley (2012), esses autores relataram que os animais mais eficientes para CGR foram também os mais eficientes em CAR, com isso, não houve diferença significativa no CMS e GMD. Porém, o CMS em porcentagem do peso vivo foi menor nos animais de alto CGR ($P = 0,014$).

Portanto, o GGR deve ser considerado em programas de seleção de animais com melhor EA por ser um parâmetro composto, que considera duas características relevantes (consumo e ganho de peso). Contudo, necessita ser incluído em mais estudos de EA, com diferentes raças de bovinos, sexo e idade, a fim de permitir melhor compreensão do valor de sua medida para tais análises.

1.6 Medidas corporais lineares e associação com eficiência alimentar

A mensuração de medidas lineares como altura de cernelha, altura de garupa, largura de garupa e circunferência torácica são de fácil obtenção. Porém, não são esperadas grandes variações na taxa de crescimento ou correlação dessas medidas com a classificação gerada pelo CAR. Isso provavelmente ocorre pelo fato de o CAR não estar ligado ao peso e tamanho do animal à idade adulta (VandeHaar et al., 2016).

Kelly et al. (2010) encontraram pouca ou nenhuma correlação entre as medidas lineares de altura de cernelha, profundidade do peito, largura do quadril, comprimento das costas e circunferência torácica com CAR. O maior valor de correlação encontrado foi para altura de cernelha, com $r = 0,15$.

Ceacero et al. (2016) analisaram mais de 8.000 bovinos Nelore machos e fêmeas, de 1978 a 2013, quanto ao CAR, GPR e CGR e sua correlação genética e fenotípica com índices de crescimento. Obtiveram baixa correlação fenotípica (máximo $r = 0,09$) e genética (máximo $r = 0,25$) de altura de quadril e circunferência torácica tanto para CAR quanto para CGR. Porém, em relação ao GPR, as correlações genéticas foram superiores: 0,25 para altura de quadril e 0,34 para circunferência torácica. As correlações fenotípicas para GPR foram baixas (Tabela 2).

Tabela 2. Correlação fenotípica e genotípica de altura de quadril e circunferência torácica com CMS, GMD, CAR, CGR e GPR

	Fenotípica				Genotípica		
	CMS	GMD	CAR	CGR	CAR	CGR	GPR
Altura quadril	0,45	0,36	0,04	-0,03	0,06	0,13	0,25
Circunferência tórax	0,55	0,60	0,06	0,00	0,14	0,17	0,34

Adaptado de Ceacero et al. (2016)

Em conformidade com isso, ao trabalhar com novilhas leiteiras Holandês x Gir, Martins (2017) não encontrou diferença entre medidas corporais e variação (\blacktriangle = final-inicial) nos animais baixo e alto CAR. Da mesma forma, essas medidas não foram correlacionadas ao CAR, o que sugere que a seleção para CAR não interfere nos padrões e taxa de crescimento das novilhas. Entretanto, variação das medidas de circunferência torácica ($P = 0,0002$), altura de quadril ($P = 0,003$) e profundidade do corpo ($P = 0,001$) diferiram entre os animais classificados para GPR. Além disso, foram observadas correlações entre essas medidas e o GPR, que variaram de 0,57 a 0,76.

Até o momento, as medidas corporais parecem estar ligadas aos animais com maior ganho de peso, de forma que os animais de alto GPR nos estudos de Ceacero et al. (2016) e Martins (2017) foram aqueles que apresentaram maior altura de quadril e circunferência de tórax ao final do período de avaliação.

1.7 Comportamento ingestivo associado à eficiência alimentar

O comportamento ingestivo pode ser alternativa para bovinocultura como marcador de EA. Em sistemas com alimentadores automáticos e correta identificação dos animais, é possível a obtenção de medidas como frequência de visitas no cocho e bebedouro, duração das visitas e tempo em consumo (Green et al., 2013). Montanholi et al. (2010) foram capazes de explicar 18% da variação do CAR através da análise do comportamento ingestivo. Segundo esses autores, o comportamento é um potencial fator de associação às demandas energéticas, e pode sofrer oscilações de acordo com o desempenho.

Kelly et al. (2010) trabalharam com 86 bovinos jovens Limousin x Holandês Friso (peso médio $191,8 \pm 37$ kg). Foram avaliados: tempo de alimentação (min/dia) e frequência de visitas (eventos/dia). Os animais foram classificados em alto e baixo CAR. Houve interação da classificação para CAR com o dia de prova, à medida que avançaram os dias o CMS/min aumentou, o que deveria ser esperado pois com o avançar da idade a tendência é que os animais cresçam, aumentem energia de manutenção e crescimento e por conseguinte o CMS. Corroborando esse fato, o número de visitas que não geraram consumo caiu com o avanço da prova, e foi positivamente correlacionado com CAR ($r = 0,23$; $P < 0,05$) e negativamente com CMS ($r = - 0,30$; $P < 0,001$). O CMS/min foi maior nos animais alto CAR (menos eficientes; $P < 0,01$), bem como o número de visitas ($68,1 \times 53,6$ eventos/dia; $P < 0,01$) na correlação com CAR, dia de prova e interação CAR x dia de prova.

Ao estudarem 91 bovinos (Angus, Simental, Charolês e Piemontês), Montanholi et al. (2010) assimilaram características de comportamento ingestivo à medidas de desempenho. Tempo total de visita, número de visitas e consumo de MS/min tiveram correlações positivas com CAR: 0,24; 0,35 e 0,44. Os resultados sugerem que índices de comportamento ingestivo podem ser utilizados para prever o desempenho dos animais. O CAR variou de - 0,52 a 0,60 kg/d. Os animais baixo CAR (eficientes) tiveram menor consumo/min (59,7 baixo CAR vs. 68,4 g/min alto CAR; $P = 0,009$) e menor frequência de visitas (48,4 baixo CAR vs. 58,7 visitas/d alto CAR; $P = 0,037$). O tempo em minutos por dia gastos com alimentação foram diferentes apenas numericamente (156,4 baixo CAR vs. 167,6 min/dia alto CAR).

Green et al. (2013) avaliaram o comportamento ingestivo de 1.049 fêmeas Holandês, entre 5 e 9 meses de idade, classificadas em baixo e alto CAR e alimentadas com feno de alfafa em baias com oito animais. Foram selecionados para avaliação 10% dos animais baixo CAR e 10% dos alto CAR. O consumo médio diário foi de 6,7 kg de MS do feno de alfafa. Os animais

de baixo CAR em geral consumiram 1,78 kg/d menos ($P < 0,05$), mais devagar (mais horas em consumo; $P < 0,05$) e em menor número de refeições diárias ($P < 0,05$). Esses dados estão de acordo com os trabalhos de Kelly et al. (2010) e Montanholi et al. (2010), apesar das raças estudadas e tipo de dieta fornecidos terem sido diferentes, já que esses dois últimos utilizaram silagem de milho

Porém, as correlações encontradas por Green et al. (2013) foram baixas comparadas às determinadas por Montanholi et al. (2010): 0,15 para número de visitas; 0,15 duração de visitas/d e 0,20 ingestão de MS/min. Os autores atribuíram esse fato ao grande número amostral e possível diluição desse efeito.

1.8 Parâmetros ruminais e associação com eficiência alimentar

Por estarem intimamente ligados aos processos digestivos, a compreensão e relação dos mecanismos funcionais e estruturais do rúmen pode auxiliar a esclarecer algumas lacunas no entendimento dos eventos fisiológicos que influenciam a EA (Lam et al., 2017). A partir de melhor compreensão, permitir também uso de índices e medidas que porventura venham a ser desenvolvidas levando-se em consideração esses parâmetros.

Guan et al. (2008) analisaram população microbiana e perfil fermentativo em 18 bovinos classificados para baixo e alto CAR. Foi observada predominância de uma população específica de bactérias nos animais baixo CAR. A composição microbiana interfere diretamente no perfil fermentativo, assim como dieta, estresse, uso de aditivos e medicamentos. Foi encontrada nesse estudo maior concentração de butirato nos animais mais eficientes (14,54 vs. 3,35 Mm; $P < 0,001$). Esse achado pode estar associado às espécies de microrganismos predominantes nos animais baixo CAR. Segundo os autores, a maior concentração de butirato pode estar relacionada à melhor capacidade metabólica e energética dos animais mais eficientes. Essa sugestão baseia-se nas múltiplas vias de utilização do produto gerado pela metabolização desse componente.

Entretanto, em trabalho de Hernandez-Sanabria et al. (2010) com 58 novilhos de corte, a concentração de butirato foi ligeiramente maior nos animais de alto CAR ($P = 0,10$) e positivamente correlacionado com CMS. Os autores descreveram uma tendência dos animais ineficientes em apresentar maior concentração deste AGV. O mecanismo que leva a uma maior ou menor produção do butirato estaria relacionado à população microbiana e à forma como ocorre a metabolização do substrato, que está diretamente relacionada aos hábitos alimentares

e ao CMS. O que também pode ser responsável pela não concordância desse resultado com outros estudos, já que os animais estavam submetidos a uma dieta de baixa energia. Um possível viés foi atribuído ao fato de ter sido realizada apenas uma coleta de líquido ruminal. A concentração de amônia não diferiu ($P = 0,43$).

McDonnel et al. (2016) avaliaram 86 novilhas Limousin x Friesan submetidas à prova de EA de 112 d. Os animais foram classificados pelo CAR e os 18 mais e menos eficientes passaram por três tratamentos (dieta 1: silagem de capim; 2: pastagem de azevém; 3: dieta total com relação de concentrado:volumoso de 70:30) para avaliação de parâmetros biológicos relacionados ao CAR. Na dieta 1, os animais de baixo CAR tiveram concentração de propionato menor (207 vs. 229 mmol/mol; $P = 0,012$) e melhor relação acetato:propionato (3,26 vs. 2,87; $P = 0,027$). O mesmo não foi verificado nas dietas 2 e 3. As concentrações de propionato e butirato diferiram entre as três dietas ($P < 0,05$). Como de se esperar, o pH foi menor na dieta 3, rica em concentrado (6,4 vs. 7,1; $P < 0,001$).

Diferente disso, Lam et al. (2017) avaliaram parâmetros funcionais e estruturais do rúmen de 42 novilhos e 16 touros de corte durante 120 d e ao abate. Não encontraram diferença na concentração de AGV entre os animais baixo e alto CAR (acetato, butirato, propionato, isobutirato, valerato, isovalerato e caproato). Diferenças foram observadas apenas entre as coletas na fazenda e no abatedouro: acetato de 49,4 para 54,5; butirato de 10,1 para 8,82 e propionato de 32,7 para 29,2, todos $P < 0,01$. Os autores atribuem a diferença a fatores como estresse e salivação durante o transporte.

1.9 Metabólitos sanguíneos e associação com eficiência alimentar

Variáveis sanguíneas são comumente analisadas em estudos de EA. O objetivo é verificar a existência de potenciais biomarcadores para os parâmetros de EA entre os animais com fenótipos divergentes (Richardson et al., 2004; Kelly et al., 2010; Santana et al., 2013; Chaves et al., 2015). Metabólitos frequentemente avaliados nos estudos são: glicose, insulina, hormônio do crescimento semelhante à insulina (IGF1), beta-hidroxibutirato (BHB), ácidos graxos não esterificados (AGNE) e hormônio do crescimento. Outros parâmetros podem ser aferidos, como hematócrito, hemoglobina, leptina, ureia e creatinina (Karisa et al., 2014; Chaves et al., 2015).

Em geral, os analitos mais comuns são escolhidos por serem mais marcantes em determinadas fases da vida do animal. Em animais jovens desaleitados, espera-se encontrar maiores contribuições na glicose, insulina e IGF1, já que a fase de intensas modificações e desenvolvimento no aleitamento foi concluída. Fase em que ocorre variação em BHB e AGNE.

Richardson et al. (2004) trabalharam com CAR em machos e fêmeas Angus. Apesar da concentração plasmática de glicose ter apresentado correlação com CAR ($r = 0,40$), não houve diferença estatística na comparação entre os grupos alto e baixo CAR. A insulina também obteve correlação com o CAR, de 0,43, e tendência à diferença estatística ($P < 0,10$).

Lancaster et al. (2008) usaram IGF1 sérica para pré-selecionar animais de alta e baixa IGF1 ao desaleitamento e posteriormente submetê-los à avaliação de EA. Constataram que a seleção para IGF1 exerceu efeito mínimo sobre a futura classificação para CAR nos animais, com alterações não significativas.

Kelly et al. (2010) analisaram IGF1, insulina, glicose e a relação glicose:insulina em animais jovens, previamente classificados para CAR. IGF1 foi numericamente maior nos animais alto CAR (menos eficientes) em três períodos de avaliação: dias 1 – 200,1 ng/mL; 30 – 294,4 ng/mL e 82 – 331,9 ng/mL. Apenas no 82º houve diferença significativa. Não houve diferença entre os grupos alto e baixo CAR, apenas na interação CAR x dia de prova ($P < 0,0001$) e no dia de prova analisado separadamente (à medida que avançou a prova, IGF1 aumentou nos animais como um todo). Para glicose, insulina e a relação glicose:insulina não foi observado esse efeito.

Ainda relatado por Kelly et al (2010), embora fraca, IGF1 obteve correlação positiva apenas com GMD ($r = 0,26$). Os autores sugerem que IGF1 não foi um bom marcador nesse estudo, mas pareceu indicar ser mais baixo nos animais baixo CAR ($r = 0,27$). Insulina, glicose e relação glicose:insulina também não foram afetadas pelo CAR nesse estudo, mas indicaram maior possibilidade de correlação desses parâmetros com o CMS.

Em contrapartida, Kelly et al. (2010) avaliaram também ureia e leptina, em que obtiveram correlação entre 0,42 e 0,46; e 0,48 e 0,43 com CAR e CMS, respectivamente, ambos com $P < 0,001$. O BHB teve correlação de 0,37 com CAR ($P < 0,001$).

Karisa et al. (2014) avaliaram diversos metabólitos sanguíneos e encontraram três metabólitos que foram significativos nos três períodos de avaliação (1ª, 2ª e 10ª semanas de teste). Juntos, correspondem a 32% da variação em CAR para a população estudada: creatina, carnitina e hipurato ($P < 0,05$). O objetivo desse estudo foi buscar parâmetros que pudessem explicar maior a variação de EA encontrada entre os animais, por isso foram avaliados foram 45 metabólitos. Citrato, lisina e acetato foram relacionados tanto ao CMS quanto ao GMD.

Os autores demonstraram que ao trabalhar com os 12 metabólitos (correlacionados ao CAR na 2ª semana de avaliação) seria possível prever a divergência fenotípica do CAR com 99,5% de acurácia. Porém, ressaltam que o estudo foi realizado em uma população numericamente pequena (112 animais) e sem variedade de raças e idades (58,3% Angus; 30,6% Simental e o restante de outras três raças de *Bos taurus*).

Chaves et al. (2015) avaliaram concentração de hemoglobina e hematócrito. Os animais com fenótipos divergentes (nos dois índices de CAR avaliados: calculado por equação de regressão e outro por um modelo adotado pelo NRC) não diferiram nos parâmetros sanguíneos avaliados. Porém, o hematócrito e a hemoglobina foram mais baixos nos animais mais eficientes em ganho de peso/kg de MS consumida: 36,8% vs. 45,7% ($P < 0,01$) e 12,6 g/dL vs. 15,5 g/dL ($P = 0,03$), respectivamente. Esses achados sugerem maior capacidade de oxigenação dos animais eficientes em ganho de peso. Esses dados estão de acordo com o exposto por Richardson et al. (1996) e Santana et al. (2013), que também não encontraram diferença em hematócrito e hemoglobina nos animais classificados para CAR.

1.10 Termografia infravermelha e associação com eficiência alimentar

O uso de imagens para identificação, diagnóstico, pesquisa e armazenamento de dados é histórico. As técnicas de obtenção de imagens de um corpo são diversas, capazes de fornecer uma gama de informações. Podem ser citadas: fotografia, radiografia, ultrassonografia, e mais recentemente usada em Medicina Veterinária, a termografia infravermelha (TIV).

O funcionamento e produção da imagem termográfica ocorre pela captação de frequências de radiação infravermelha emitidas por qualquer corpo com temperatura absoluta diferente de zero grau. A imagem obtida de uma superfície (objeto, ser vivo, ambiente) é gerada em equipamento específico capaz de captar esses sinais. Para serem exibidas as escalas de temperatura, as imagens são descarregadas em dispositivo e processadas e interpretadas por *softwares*, que traduzem cada ponto da imagem em um mapa termográfico. Nesse mapa, os pontos de emissão de radiação correspondem a coordenadas de eixos x e y, e são representados por unidade de pixel (Harrison et al., 2007; McManus et al., 2016). A leitura do mapa é feita em graus Celsius (C) ou Fahrenheit (F) e demonstradas por gradientes de cores disponíveis no *software* (paletas de cores). A região selecionada no mapa para verificação da temperatura pelo usuário fornece as medidas de temperatura máxima, mínima e média da área de interesse.

Por isso, é considerada uma técnica não invasiva e de fácil execução, que permite sua realização em diversos ambientes, condições e animais. Para produzir uma imagem

termográfica é necessária apenas se aproximar do alvo, a uma distância de aproximadamente 0,5m, sem necessidade de contenção, sedação ou analgesia (McManus et al., 2016).

Alguns fatores precisam ser controlados ao optar pelo uso da imagem termográfica a fim de garantir a qualidade e a adequado processamento e interpretação das imagens. Dado seu mecanismo de captura da imagem, temperatura, umidade, incidência direta de luz solar, chuva, sujidade na superfície corpórea e calibração e regulagem da câmera termográfica são necessários (Rekant et al., 2016; Stewart et al., 2017).

Uma aplicação importante da TIV é seu uso em pesquisas relacionadas à identificação e correlação entre parâmetros de EA. Uma das formas de o animal expressar sua eficiência e atividade metabólica é através da produção de calor. A produção de calor origina-se basicamente de atividade física, metabolismo e ingestão de alimentos. Pode ser expressa pela radiação térmica emitida pela superfície corporal.

A termorregulação é importante nos animais de produção pois sua eficiência metabólica em usar vias de redução dos efeitos provocados pelo calor externo interfere na capacidade do animal em degradar, absorver e utilizar os nutrientes de forma eficiente. Assim, animais que apresentam maior capacidade em regular e se adaptar a essas condições estarão mais aptos a aproveitar o alimento e convertê-lo em ganho de peso, GMD ou produção de leite, devido ao menor requerimento de energia para manutenção. Em condições de CMS limitado por fatores endógenos ou exógenos, animais com menor necessidade de energia para manutenção serão mais eficientes em utilizar o alimento (Berman, 2011).

Da mesma forma, a dissipação de calor, relacionada à produção de calor de um animal, pode ser decorrente das mesmas variáveis. A dissipação de calor nos bovinos ocorre por evaporação, condução, convecção e radiação. Animais mais e menos eficientes podem emitir diferentes padrões de radiação, em regiões anatômicas distintas (Silanikove, 2000; Harrison et al., 2007).

A produção de calor é comumente aferida por alguns métodos diretos e indiretos de calorimetria, como uso de câmaras respirométricas (exige ambiente e equipamento específicos para mensuração da produção, emissão e trocas gasosas de CO₂, O₂ e CH₄) e aferição de taxa cardíaca e respiratória. Contudo, esses métodos são laboriosos pois exigem permanência do animal em câmaras respirométricas por longos períodos de tempo, equipamentos de difícil manejo, exigentes e custosos (McManus et al., 2016). Além disso, afeta a rotina e comodidade do animal devido ao alto grau de manipulação. Já a mensuração por débito cardíaco e pulmonar exige menos equipamentos, mas também leva à manipulação excessiva dos animais, o que pode

comprometer a própria qualidade dos registros gerados pelo estresse gerado no manejo (Harrison et al., 2007).

A TIV apresenta-se então como ferramenta alternativa para a aferição de produção de calor, e pode ser aplicada a diversas regiões anatômicas da superfície corporal dos animais. Tem custo inicial dependente da aquisição do equipamento, mas não exige custos de manutenção contínuos, nem demanda material de reposição. A TIV foi empregada em estudos de EA com intuito de embasar as discussões acerca dos resultados de animais mais e menos eficientes.

Trabalhos conduzidos com foco em CAR utilizaram a TIV para este fim, e obtiveram imagens de regiões anatômicas como olho, focinho, costela, flanco e membros dos animais para verificar existência de correlação entre a produção de calor nessas regiões anatômicas com parâmetros usados na classificação dos animais segundo o CAR.

Seria de se esperar que animais mais eficientes em converter alimento em energia para utilização, dissipariam menos calor porque exigiriam menor energia de manutenção devido à sua capacidade termoregulatória, dentre outras características genéticas e fenotípicas relacionadas ao seu metabolismo. Muitos estudos partiram desse princípio para investigar através da TIV a correlação da produção de calor e dissipação com a EA dos grupos fenotípicos trabalhados (Montanholi et al., 2009; Montanholi et al., 2010; DiGiacomo et al., 2014; Martello et al., 2015; Leão et al., 2018).

Leão et al. (2018) usaram TIV ao pesquisar diferenças fenotípicas entre bezerras Holandês x Gir em fase de aleitamento quanto ao CAR, ganho de peso residual (GPR) e produção de calor. Bezerras classificadas como alto GPR (mais eficientes) obtiveram maior temperatura da região anatômica do olho do que as de baixo GPR (menos eficientes). Nas demais regiões avaliadas não foi relatada diferença de temperatura. Esse achado está em desacordo com o exposto por Montanholi et al. (2010), onde os animais mais eficientes apresentaram menores temperaturas do que os menos eficientes nas regiões da bochecha (28,1 °C vs. 29,2 °C) e focinho (30,0 °C vs. 31,2 °C).

Martello et al. (2015), estudaram 144 bovinos Nelore e relataram maior temperatura superficial em animais de alta eficiência (baixo CAR). Um dos poucos estudos de CAR em animais *Bos indicus* e em região tropical.

Os autores desses dois trabalhos sugerem que os animais mais eficientes teriam maior temperatura superficial corporal relacionada à sua eficiência metabólica, que conduziu à maior dissipação de calor por radiação. Dessa forma, a temperatura interna do corpo se manteve mais controlada e estável. Martello et al. (2015) corrobora essa hipótese com o fato de a temperatura

retal dos animais mais eficientes (baixo CAR) ter sido menor ($P < 0,01$), apesar da temperatura superficial maior. Ao contrário de Leão et al. (2018) e Martello et al. (2015), Montanholi et al. (2010) sugeriram que os animais de alto CAR (menor EA) teriam tido maior eficiência energética, e por isso, menores temperaturas superficiais. Porém, não foi aferida temperatura retal nesse estudo.

Montanholi et al. (2010) encontraram correlação de 0,37 e 0,41 entre TIV e o CAR da bochecha e focinho, respectivamente. Da mesma forma, Martello et al. (2015) conseguiram relação positiva da TIV da bochecha, olho, chanfro, costela, garupa e membro dianteiro com o CAR em animais classificados em alto ou baixo CAR. Esses três autores afirmam ainda que, de acordo com seus resultados, a TIV foi considerada a alternativa mais promissora para prever a EA, capaz de contribuir com 59% da variação de eficiência associada ao CAR entre os animais. Além disso, Montanholi et al. (2010) ressaltam que a TIV poderia ser incorporada aos programas de melhoramento genético como ferramenta de predição da EA.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCGIL. Disponível em: <<http://girleiteiro.org.br>>. Acessado em: 06 de novembro de 2018.

ARCHER, J. A.; REVERTER, A.; HERD, R.M. et al. *Genetic variation in feed intake and efficiency of mature beef cows and relationships with postweaning measurements*. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19-23, 2002, Montpellier, France.

ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A.; JOHNSTON, D.J. et al. *Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other post-weaning traits in Angus cattle*. J. Anim. Sci., v.79, p. 2805-2811, 2001a.

BERMAN, A. *Invited review: Are adaptations present to support dairy cattle productivity in warm climates?* J. Dairy Sci., v.94, p.2147-2158, 2011.

BERRY, D.P.; CROWLEY, J.J. *Cell Biology Symposium: Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle*. J. Anim. Sci., v.91, p.1594-1613, 2013.

BERRY, D.P.; CROWLEY, J.J. *Residual intake and body weight gain: A new measure of efficiency in growing cattle*. J. Anim. Sci., v.90, p.109-115, 2012.

BLAYNEY, D.P. *The changing landscape of U.S. production*. Eletron. Rep. Econ. Res. Serv. Statistical Bulletin Number 978, 2002.

BONILHA, S.F.M.; CYRILLO, J.N.S.G.; SANTOS, G.P. et al. *Feed efficiency, blood parameters, and ingestive behavior of young Nelore males and females*. Trop. Anim. Health Prod., v.47, p.1381-1389, 2015.

BRANCO, R.H.; BONILHA, S.F.M.; RAZOOK, A.G. et al. *Consumo alimentar residual de machos Nelore selecionados para peso pós-desmame*. 46º Reu. Anu. Soc. Bras. Zootec. 2009.

BRITT, J.H.; CUSHMAN, R.A.; DECHOW, C.D. et al. *Invited review: Learning from the future—A vision for dairy farms and cows in 2067*. J. Dairy Sci., v.101, n.5, p.1-20, 2018.

CEACERO, T.M.; MERCADANTE, M.E.Z.; CYRILLO, J.N.S.G. et al. *Phenotypic and genetic correlations of feed efficiency traits with growth and carcass traits in Nelore cattle selected for postweaning weight*. Plos One, p.1-11, 2016.

CHAVES, A.S.; NASCIMENTO, M.L.; TULLIO, R.R. et al. *Relationship of efficiency indices with performance, heart rate, oxygen consumption, blood parameters, and estimated heat production in Nelore steers*. J. Anim. Sci., v.93, p.5036-5046, 2015.

DICKERSON, G. E. *Animal size and efficiency: basic concepts*. Anim. Prod., v.27, p.367-379, 1978.

DiGIACOMO, K.; MARETT, L.C.; WALES, W.J. et al. *Thermoregulatory differences in lactating dairy cattle classed as efficient or inefficient based on residual feed intake*. Anim. Prod. Sci., v.54, p.1877-1881, 2014.

FAO 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/dairy-production-products/production/dairy-animals/en/>>. Acessado em 02 de novembro de 2018.

FAO 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#country>>. Acessado em 02 de novembro de 2018.

FAVERO, R.; GOMES, R.C.; MIZUBUTI, I.Y. et al. *Implicações da seleção pelo consumo e ganho residual no desempenho e características de carcaça de bovinos da raça Brahman*. Anais Beef Expo, p.39-45, 2015.

FILHO, J.C.R.; LOPES, P.S.; VERNEQUE, R.S. et al. *Population structure of Brazilian Gyr dairy cattle*. R. Bras. Zootec., v.39, n.12, p.2640-2645, 2010.

FLIR. Disponível em: <www.flir.com.br>. Acessado em: 04 de Dezembro de 2018.

GREEN, T.C.; JAGO, J.G; MACDONALD, K.A.; WAGHORN, G.C. *Relationships between residual feed intake, average daily gain, and feeding behavior in growing dairy heifers*. J. Dairy Sci., v.96, n.5, p.3098-3107, 2013.

GRION, A.L.; MERCADANTE, M.E.Z.; CYRILLO, J.N.S.G. et al. *Selection for feed efficiency traits and correlated genetic responses in feed intake and weight gain of Nellore cattle*. J. Anim. Sci., v.92, p.955-965, 2014.

GUAN, L.L.; NKURUMAH, J.D.; BASARAB, J.A.; MOORE, S.S. *Linkage of microbial ecology to phenotype: correlation of rumen microbial ecology to cattle's feed efficiency*. Microbol. Lett., v.288, p.85-91, 2008.

HERNANDEZ-SANABRIA, E.; GUAN, L.L.; GOONEWARDENE, L.A. et al. *Correlation of particular bacterial PCR-Denaturing gradient gel electrophoresis patterns with bovine ruminal fermentation*. Appl. Environ. Microbiol., v.76, n.19, p.6338-6350, 2010.

HARRISON, H.J.S.; SCOTT, S.L.; CHRISTOPHERSON, R.J. et al. *Use of infrared thermography in live animals to predict growth efficiency*. US Patent Appl. Public. Pub. Num. US2007/0093965 A1, 2007.

HERD, R.M.; ODDY, V.H.; RICHARDSON, E.C. *Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potencial mechanisms*. Aus. J. Experim. Agric., v.44, p.423-430, 2004.

IBGE, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9209-pesquisa-trimestral-do-leite.html?=&t=series-historicas>>. Acessado em 02 de novembro de 2018.

KARIZA, B.K.; THOMSON, J.; WANG, Z. et al. *Plasma metabolites associated with residual feed intake and other productivity performance traits in beef cattle*. Livest. Sci., v.165, n.1, p.200-211, 2014.

KELLY, A.K.; McGEE, M.; CREWS, D.H. et al. *Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers*. J. Anim. Sci., v.88, p.109-123, 2010.

KOCH, R.M.; SWIGER, L.A.; CHAMBERS, D.; GREGORY, K.E. *Efficiency of feed use in beef cattle*. J. Anim. Sci., v.22, n.2, p.486-494, 1963.

LAM, S.; MUNRO, J.C.; ZHOU, M. et al. *Associations of rumen parameters with feed efficiency and sampling routine in beef cattle*. Animal, v.12, n.7, p.1442-1450, 2017.

LANNA, D.P.; ALMEIDA, R. *Residual feed intake: um novo critério de seleção?* V Simpósio da Soc. Bras. Melhoram. Anim., Pirassununga, SP, 2004.

LANCASTER, P.A.; CARSTENS, G.E.; RIBEIRO, F.R.B. et al. *Effects of divergent selection for serum insulin-like growth factor-I concentration on performance, feed efficiency, and ultrasound measures of carcass composition traits in Angus bulls and heifers*. J. Anim. Sci., v.86, p.2862-2871, 2008.

LEÃO, G.F.M.; PIVATTO, D.R.D.; CARNIEL, H. et al. *Melhoramento genético em zebuínos leiteiros – uma revisão*. ACSA – Agrop. Cient. Semiárido, v.9, n.4, p.09 -14, 2013.

LEÃO, J.M.; COELHO, S.G.; MACHADO, F.S. et al. *Phenotypically divergent classification of preweaned heifer calves for feed efficiency indexes and their correlations with heat production and thermography*. J. Dairy Sci., v.101, n.6, p.5060-5068, 2018.

MANAFIAZAR, G.; BASARAB, J.A.; BARON, V.S. et al. *Effect of post-weaning residual feed intake classification on grazed grass intake and performance in pregnant beef heifers*. J. Anim. Sci., v.95, n.3, p.369-381, 2015.

MARTELLO, L.S.; SILVA, S.L.; GOMES, R.C. et al. *Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in Bos indicus cattle in tropical conditions*. Int. J. Biometeorol., v.60, n.1, p.173-181, 2015.

MARTINS, P.C. *Relação do consumo alimentar residual e ganho de peso residual com características morfológicas, desempenho, comportamento alimentar, termográfica de infravermelho de novilhas Girolando*. Dissertação de Mestrado (Universidade Federal de Minas Gerais), 2017.

McDONNELL, R.P.; HART, K.J.; BOLAND, T.M. et al. *Effect of divergence in phenotypic residual feed intake on methane emissions, ruminal fermentation, and apparent whole-tract digestibility of beef heifers across three contrasting diets*. J. Anim. Sci., v.94, p.1179-1193, 2016.

McMANUS, C.; TANURE, C.B.; PERIPOLLI, V. *Infrared thermography in animal production: An overview*. Comp. Electr. Agric., v.123, p.10-16, 2016.

MONTANHOLI, Y.R.; SWANSON, K.C.; PALME, R. et al. *Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids*. Animal, v.5, n.4, p. 692-701, 2010.

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

PEREIRA, L.G.R.; PAIVA, C.A.V.; RIBAS, M.N.; FERREIRA, A.L. *Pecuária leiteira de precisão: conceitos e tecnologias disponíveis*. Zootecnia de Precisão em Bovinocultura de Leite. Cad. Téc. Vet. Zootec., n.79, cap.1, p.9, 2015.

PEREIRA, L.G.R.; MACHADO, F.S.; TOMICH, T.R. et al. *Eficiência bioeconômica e pecuária de precisão em sistemas de produção de leite*. 17º Fórum Produção Pecuária-Leite, 4º Salão de Trabalhos Científicos, p. 60, 2014. Disponível em: <<https://home.unicruz.edu.br/forumdoleite/downloads/anais/Forum%20do%20Leite%202014.2.pdf>>. Acessado em: 09 de novembro de 2018.

REKANT, S.I.; LYONS, M.A.; PACHRICO, J.M. et al. *Veterinary applications of infrared thermography*. AJVR, v.77, n.1, p.98-107, 2016.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F. *Metabolic differences in Angus steers divergently selected for residual feed intake*. Aus. J. Experim. Agric., v.44, p. 441-452, 2004.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ARTHUR, P.F. et al. *Possible physiological indicators for net feed conversion efficiency in beef cattle*. Aus. Soc. Anim. Prod., v.21, p. 103-106, 1996.

SANTANA, M.H.A.; ROSSI JUNIOR, P.; ALMEIDA, R.; SCHUNTZEMBERGER, A.M.S. *Blood cell and metabolic profile of Nelore bulls and their correlations with residual feed intake and feed conversion ratio*. Rev. Bras. Saúde Prod. Anim., v.14, n.3, p.527-537, 2013.

SILANIKOVE, N. *Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants*. Livest. Prod. Sci., v.67, p.1–18, 2000.

STEWART, M.; WILSON, M.T.; SCHAEFER, A.L. et al. *The use of infrared thermography and accelerometer for remote monitoring of dairy cow health and welfare*. J. Dairy Sci., v.100, p.1-9, 2016.

TEMPELMAN, R. J.; SPURLOCK, D.M.; COFFEY, M. et al. *Heterogeneity in genetic and nongenetic variation and energy sink relationships for residual feed intake across research stations and countries*. J. Dairy Sci., v.98, p.2013–2026, 2015.

VANDEHAAR, M.J.; ARMENTANO, L.E.; WEIGEL, K. et al. *Harnessing the genetics of the modern dairy cow to continue improvements in feed efficiency*. J. Dairy Sci., v.99, p.4941-4954, 2016.

VANDEHAAR, M.J.; TEMPELMAN, R.J. *Feeding and breeding to improve feed efficiency and sustainability*. Large Dairy Herd Management, 3rd ed. Amer. Dairy Sci., Assoc., 2017.

CAPÍTULO 2

Artigo publicado em Janeiro de 2022, doi: 10.3390/ani12030331

Phenotypic divergence for residual feed intake affects biological and behavioral variables in rearing dairy heifers

Abstract: The objectives of this study were: 1) to identify and rank phenotypically divergent animals for residual feed intake (**RFI**) regarding their efficiency (high – **HE** or low – **LE**); 2) to evaluate their relationships with infrared thermography, performance, ingestive behavior, and ruminal and blood parameters in Gyr heifers; 3) to determine if such measurements can be used as feed efficiency markers during rearing heifer. Thirty-eight heifers, $143 \text{ d} \pm 4$ (Mean \pm SD) of age and $108.7 \text{ kg} \pm 17.9$ of body weight were used. The animals were fed with a total mixed ration during 91 d of a trial. A variation between -0.358 kg/d (**HE**) and 0.337 kg/d (**LE**) was observed. Dry matter intake (**DMI**) was lower in the **HE**: 2.5 kg DMI/d vs. 3.1 kg DMI/d , as well as the number of visits to the feed bin with consumption (59 vs. 71). Along with water intake, these were the measures that best functioned as markers of divergence in **RFI**. The ruminal fermentation variables, blood metabolites, blood hormones, such as the other ingestive behavior variables, and infrared thermography were not able to accurately predict **HE** or **LE** animals.

Keywords: Animal production, biological basis, feed efficiency, sustainability, water intake.

1. Introduction

In the search for sustainability, animals that are more efficient at converting food into produce are of unquestionable relevance [1, 2]. The evaluation of feed efficiency could be

obtained from measuring indexes such as feed conversion, average daily weight gain (**ADG**), residual body weight gain, residual feed intake (**RFI**), residual intake and body weight gain, or a combination of some of these indexes [3, 4]. In this context, RFI appeared as way to identify and classify animals in terms of their efficiency regarding consumption.

Due the fact that this index is not based on weight at adult age, they allow for a selection of more efficient animals, not necessarily with greater weight but with lower maintenance energy. In addition, the fact that animals evaluated for RFI demonstrate maintaining their superiority at different stages of life indicates the future sustainable and economic potential associated with the selection by this index [5].

For the calculation of RFI, an approximate trial period of 90 d [6] is necessary. The RFI corresponds to individual real feed intake, obtained from the difference between observed DMI and the estimated DMI for each animal [3]. In beef cattle, RFI was associated with other variables such as blood metabolites and hormone concentrations, ruminal fermentation (pH, volatile fatty acids production), and superficial body temperature by infrared thermography of specific body parts, such as front, eye, rib, flank, muzzle, and cheek [7-10].

However, in dairy cattle these data are still controversial [11]. Understanding the behavior and role of these variables and their association with the phenotypic classification for RFI in dairy cattle can help develop more practical ways of identifying them daily. The aim of this study was to identify and rank dairy cattle heifers for RFI and, to evaluate their relationships with infrared thermography, performance, ingestive behavior, and ruminal and blood parameters in Gyr heifers and to determine if such measurements can be used as feed efficiency markers during heifer rearing.

2. Materials and Methods

The experiment was conducted with born and bred heifers at the EMBRAPA Dairy Cattle Experimental Farm, Coronel Pacheco, Minas Gerais, Brazil. After the trial period, animals remained into herd according to EMBRAPA regulations and will be utilized in further research.

2.1. Animals, Housing, and Management

A total of 38 Gyr heifers ($143 \text{ d} \pm 4 \text{ d}$ of age and $108.7 \pm 17.9 \text{ kg}$ of BW) were used. Immediately after birth, they were separated from their dams, moved to an individual sand-bedded tie-stall, weighed, and had their umbilical cords immersed in 10% iodine solution. Colostrum (10% of BW at birth; $> 50 \text{ g}$ of IgG/L) was provided within 6 h after birth. During preweaning, calves received water and starter (Soymax Rumen Pré-Inicial Floc - Total Alimentos, Três Corações, Minas Gerais, Brazil) at ease, and milk (42% of metabolic birth body weight). From 3 d of age, 8% of chopped hay (*Tyfton 85*) was included. Weaning was at 87 d of age, and the animals stayed in their housing up to 101 d of age.

At 101 d of age, the heifers were transferred to a grass-covered paddock (*Cynodon dactylon*; 1350 m²) with a concrete area near the troughs, where they stayed during 28 d of adaptation and socialization. During the first seven days, the diet was 75% of the preweaning starter plus 25% of total mixed ration (TMR; 7% corn silage and 25% concentrate) (Table 1). In the second week, there was 50% of the preweaning starter plus 50% of TMR. In the third week, there was 25% of the preweaning starter plus 75% of TMR, and in the last week 100% of TMR. Feed was supplied at will, ensuring a minimum 10% of leftovers.

Samples (0.5 kg) of corn silage and concentrate were collected three times a week then homogenized and packaged ($-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Feed samples were dried in a forced-ventilation oven at $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ for 72 h, ground to 1 mm particle size in a Wiley Mill (model 3, Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, PA). Dry matter, crude protein, ethereal extract, and ashes were

determined according to AOAC [12], and neutral detergent fiber was determined by the method of Van Soest [13]. Total digestible nutrients and metabolizable energy were calculated according to NRC [14]. Gross energy was determined using an adiabatic bomb calorimeter (IKA-C5000, IKA1 Works, Staufen, Germany).

Table 1: Nutritional composition (dry matter basis, % unless otherwise noted) of concentrate, corn silage and total mixed ration offered to heifers during trial period.

Nutritional composition	Concentrate¹	Corn silage	TMR²
DM ³	88.45	35.10	48.40
TDN ⁴	85.10	75.80	77.20
CP ⁵	33.31	8.10	14.41
EE ⁶	2.96	4.00	3.76
ASH ⁷	11.87	6.10	7.54
NDF ⁸	11.69	42.90	35.12
ME ⁹ (kcal/kg)	3591.00	2240.00	2577.00
GE ¹⁰ (kcal/kg)	4205.84	4510.50	4433.57

¹Concentrate composition: 64% soybean meal, 30% ground corn and 6% mineral core;

²TMR = total mixed ration;

³DM = Dry matter;

⁴TDN = Total digestible nutrients;

⁵CP = Crude protein;

⁶EE = Ethereal extract;

⁷ASH = Ashes;

⁸NDF = Neutral detergent fiber;

⁹ME = Metabolizable energy;

¹⁰GE = Gross energy.

2.2. Feed Intake, Water Intake, Body Weighing, Average Daily Gain, and Ingestive Behavior

Heifers were submitted to a trial period of 91 d in which they were fed with TMR twice a day at 08:30 and 15:30 h, and water was supplied at ease. The paddock was equipped with nine electronic feed bins (AF1000 JUNIOR Intergado Ltd, Contagem, Minas Gerais, Brazil) with a capacity of 55 kg and accuracy of ± 0.025 kg and three electronic water bins (WD1000 Intergado Ltd, Contagem, Minas Gerais, Brazil) with a capacity of 40 kg of water and accuracy of ± 0.025 kg. A body-weighing station (WD 1000 Intergado Ltd, Contagem, Minas Gerais, Brazil) with a capacity of 400 kg and accuracy of ± 0.100 kg was coupled with each water bin so that to have access, the animals were kept at the weighing station. This technology has been tested and validated [15]. For purposes of identification, each animal received an earring with an electronic transponder (FDX-ISSO 11784/11785; Allflex, Joinville, Brazil) before the trial period with an individual coding.

Water and feed consumption were measured daily and individually as the difference in weight between the bin content at the beginning and end of the visit. Collection data were processed and stored by software Intergado Ltd. Out of the total of data collected in the 91 d of trial (intake, water intake and weighing), 16.5% were excluded due to occurrences unrelated to the equipment, such as days for maintenance of the paddock, heavy rain, and poor positioning of the animals on the body-weighing platform. Then 76 d were considered for consumption analysis and 90 d for weighing analysis, with 420 ± 87 weighing data for each animal. ADG was automatically calculated by software Intergado Ltd. After removal of the outliers, BW data were submitted to linear regression models, in which ADG was obtained by

the first derivation of the selected model and calculated by the difference between the daily body weighing.

To evaluate ingestive behavior, the following data provided by software Intergado Ltd. were used: total time at the bin (**TTB**), consumption time at the bin (**CTB**), number of visits to the feed bin with consumption (**NVB**), total time at the water bin (**TTW**), and number of visits at the water bin (**NVW**). Values of TTB lesser than 60 min/d and greater than 600 min/d were excluded from the analyses after pre-evaluate of data since they were not within the normal values considering the average of time of all animals during the evaluation period. Values of TTW greater than 99 min/d were excluded for the same reason.

2.3. Residual Feed Intake

The RFI was calculated by using average DMI, and BW at 45 d of trial. The estimated DMI was obtained by the preestablished linear regression model:

$$Y_j = \beta_0 + \beta_1 (BW^{0.75})_j + \beta_2 (DMI)_j + e_j, \text{ where:}$$

Y_j is the standardized DMI of heifer j ;

β_0 : intercepts;

β_1 : regression coefficient for $BW^{0.75}$;

β_2 : regression coefficient for DMI; observed DMI to calculate estimated consumption to calculate RFI of animal j ,

e_j : associated error to animal j .

The classification in HE or LE was made according to the standard deviation (SD) around the mean value found for all animals (38): HE-RFI (< 0.5 SD under the mean; $n = 13$), and LW-RFI (> 0.5 SD above the mean; $n = 14$).

2.4. Rumen Variables and Analyses

A total of 100 mL of ruminal liquid was collected from each animal at 30, 60, and 90 d of trial, 3 h after the first feed with support of a flexible orogastric tube. The samples were sifted and filtered in double gauze. The pH was measured immediately with the aid of a portable potentiometer (DM-2-Digimed, São Paulo, Brazil). Samples were divided into two recipients: the first with 10 mL of ruminal liquid plus 2 mL of metaphosphoric acid (concentration 20%) for volatile fatty acids (VFA; acetate, propionate and butyrate) concentration analysis; and the second with 10 mL of ruminal liquid plus 1 mL of sulfuric acid (50%) for analysis of ruminal ammoniacal nitrogen concentration.

Samples were centrifuged at $1,800 \times g$ for 10 min at room temperature (22-25 °C) for measurement of VFA concentration by high performance liquid chromatography (Waters Alliance e2695 Chromatograph, Waters Technologies Brazil LTDA, Barueri, Brazil) with a C18 ODS 80A reverse phase column separation system (150 x 4.6 mm x 5 μ m). The conditions of analysis were an isocratic mobile phase consisting of 100% aqueous phosphoric acid solution, pH 2.35 - 2.55, oven temperature of 40 ± 5 °C, sample injection volume of 10 μ L, run time of 20 min, and detector with a wavelength of 210 nm. Ruminal ammoniacal nitrogen concentration was quantified after distillation of Kjeldahl according to the INCT-CA N007 / 1 method [16] with boric acid solution (40g / L), potassium hydroxide solution (132g / L), and hydrochloric acid (0.49 g / L). After quantification, the adjustment required by using this method was given according to INCT-CA N007 / 1 method.

2.5. Blood Metabolites and Hormones

Blood samples (30 ml) of all animals were collected to determine metabolites and hormones at 30, 60, and 90 d, 3 h after the first feed of the day. The sample collections were carried out with local antiseptics (70% alcohol) by venous puncture of the jugular. Four siliconized vacuum tubes (Becton, Dickinson and Company, EUA) were collected: two (5 ml) containing sodium fluoride for plasma extraction, and two (10 ml) without content for serum extraction. The samples were immediately centrifuged at 800 RPM for 10 min and stored in aliquots of 1.5 mL at -20 °C. Plasma was used for glucose dosing by using an EON microplate spectrophotometer (Biotek Instruments Inc., Vermont, EUA) by the enzymatic method (Kovalent do Brasil Ltd., Rio de Janeiro, Brazil). Serum was used for insulin and insulin-like growth factor type 1 (**IGF-1**) dosing. Analysis was carried out in the Immulite 2000[®] (Siemens Healthineers, Brazil). The reagent Insulina 200T (IMM2) L2KIN2[®] and control Biorad Lipocheck Control Trilevel Imuno[®] were used for insulin, and the reagent IGF-1 200 Tests (IMM2)[®] and control IGF1/IGFBP 3 (IMM)[®] were used for IGF-1 (Prohosp Distribuidora de Medicamentos LTDA, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil).

2.6. Infrared Thermography

Thermographic evaluations were carried out at 30, 60, and 90 d. Thermographic images were obtained with the support of the portable device FLIR T420[®] (FLIR Systems, Inc., Wilsonville, OR, EUA). The distance from the thermograph to the photographed anatomical area was standardized at 1 m, and the device settings were adjusted to 20 °C reflectance temperature and 0.98 emissivity [11]. The archives were processed and interpreted by software FLIR Tools 5.6[®] (FLIR Systems, Wilsonville, OR, USA) displayed on the iron palette. Measuring tools were used in the form of a rectangle in anatomical areas: 40 mm x 30 mm for cheek, 150 mm x 120 mm for right rib, 10 mm x 10 mm for muzzle, 80 mm x 120 mm for left

flank, 10 mm x 20 mm for front, 15 mm x 25 mm front limb, and 15 mm x 25 mm for hind limb. The evaluation was carried out using the maximum temperature of each area.

2.7. Statistical Analysis

The software SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, version 9.4) was used. To evaluate the effects of efficiency in the groups, the MIXED procedure was used according to the model:

$$Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 A_{ij} + \beta_2 B_{ij} + G_i + M_k + [GM]_{ik} + \delta_{ij} + \varepsilon_{ijk}, \text{ where:}$$

Y_{ijk} is the dependent variable;

β_0 is the intercept;

$\beta_1 A_{ij}$ is the regression coefficient for the covariate initial BW;

$\beta_2 B_{ij}$ is the regression coefficient for the covariate total serum protein;

G_i is the fixed effect of efficiency group;

M_k is the fixed effect of repeated measure (day or week);

$[GM]_{ik}$ is the fixed effect of interaction between group and repeated measure;

δ_{ij} is the random error between animals within treatment;

ε_{ijk} is the random error between measurements among animals.

Means, standard deviation, normality, and homoscedasticity were analyzed by the PROC-UNIVARIATE procedure. Abnormal variables were transformed according to their characteristics. Initial body weight was used as the covariate. Initial body weight, final body weight, and ADG were analyzed by the PROC GLM. The remaining data were analyzed using

repeated measures over time (PROC MIXED). HE-RFI or LE-RFI and repeated measures over time (day or week) were included in the model as fixed effects. The PROC CORR procedure was used for the evaluation of the correlation between the variables. Correlation was classified as low ($r < 0.30$), moderate ($0.30 > r > 0.70$), and strong ($r > 0.70$). The P -value was considered significant when $P < 0.05$.

3. Results and Discussion

3.1. Residual Feed Intake, Feed and Water Intake, and Performance

A phenotypic divergence of DMI for RFI was observed between -0.358 and 0.337 kg/d for HE and LE, respectively ($P < 0.0001$) (Table 2). This variation represented the reduction of about 63.25 kg of DM for each animal during the trial period. The minimum and maximum values of RFI were -0.868 (HE) and 0.881 kg/d (LE), representing a difference of 1.75 kg/d of DM between the most or least efficient animal. Total DMI was 19.3% less in the HE animals ($P < 0.0001$). The difference was greater than the 15.9%, 13.0%, and 8.9% reported in other studies [9, 11, 17]. The first was conducted with a Holstein x Limousin crossbreed (247 d of age) while the second and third evaluated Holstein x Gyr, and Gyr from birth to weaning. The major variation found in animals from 247 d and in the present study may be due to the life phase in which the evaluations were carried out. After weaning, the animals presented more advanced age and greater BW and were no longer submitted to a liquid diet, which may have allowed a major expression of variation in individual DMI. No difference was found in ADG between HE-RFI and LE-RFI in the present study. These results are in accordance with those reported by Basarab et al. [18] and McDonnel et al. [19].

Table 2: Means of the indexes, intake and performance evaluated for HE and LE in RFI, standard error of the mean (SEM) and group interaction (HE or LE) in dairy heifers phenotypically classified for RFI.

Item	RFI ¹		SEM ⁴	P-value
	HE ²	LE ³		
RFI (kg/d)	-0.358	0.337	0.06	<0.0001
<i>Intake</i>				
Water (L/d)	7.2	7.0	0.50	0.024
DMI ⁵ (kg/d)	2.5	3.1	0.17	<0.0001
Water:DMI ratio	3.5	2.7	0.30	<0.0001
<i>Performance</i>				
ADG ⁶ (kg/d)	0.305	0.237	0.35	0.3662
Initial weight body (kg)	106.3	107.6	1.88	0.8214
Final weight body (kg)	133.7	128.9	4.22	0.4682

¹RFI = Residual feed intake;

²HE = High efficiency (RFI: smaller than 0.5 SD below average);

³LE = Low efficiency (greater than 0.5 SD above average);

⁴SEM = Standard error of the mean;

⁵DMI = Dry matter intake;

⁶ADG = Average daily gain.

To our knowledge, the present study is the first study to assess water consumption in phenotypically divergent animals for RFI. Water intake ranged between HE-RFI (7.2 L) and LE-RFI (7.0 L; $P = 0.024$) (Table 2). High efficiency animals consumed proportionally more water in relation to their BW. Water intake is not a frequently measured parameter in studies and routines on farms, probably due to the difficulty of measuring. However, water is essential for the physiological process and is related to DMI, development, and ADG [20, 21]. Increased water intake beyond that needed for organic functions does not reflect a higher DMI; nevertheless, when water intake is lower than the minimum required, it is followed by a reduction in DMI [22]. The ratio between water intake and DMI was 3.5 vs. 2.7 for HE-RFI and LE-RFI, respectively ($P < 0.0001$). The increase of water requirements does not keep up with body growth rate and body weight gain [23], as observed in our study, leading us to assume that greater water intake by HE could be related to some energetic metabolic pathway [21]. We believe that future studies on the biological bases involved in the phenotypic difference for RFI should consider the assessment of water consumption, as well as the study of organic functions at the cellular level in order to elucidate the reasons for the higher water intake in HE animals.

3.2. Ingestive Behavior

Daily activity by animals is believed to contribute about 5% to the variation in RFI [7]. Total time at the bin and CTB were not different, as indicated in an earlier work [18]. However, NVB had less HE-RFI than LE-RFI (59 vs. 71; $P < 0.001$) (Table 3). Although moderate, except for the NVB, the other variables related to ingestive behavior showed no significance when correlated with RFI [23] (Table 4).

Table 3: Ingestive behavior, ruminal fermentation, blood parameters and infrared thermography in HE and LE dairy heifers phenotypically classified for RFI.

Item	RFI ¹		SEM ⁴	P-value
	HE ²	LE ³		
<i>Ingestive behavior</i>				
TTB ⁵ (min)	152	152	8.27	0.36
CTB ⁶ (min)	126	126	7.90	0.14
NVB ⁷ (occurrence)	59	71	0.80	<0.0001
TTW ⁸ (min)	16	11	0.06	<0.0001
NVW ⁹ (occurrence)	5.9	5.50	0.34	<0.0001
<i>Ruminal parameters</i>				
pH	6.80	6.90	0.16	0.74
N-NH ₃ ¹⁰	13.70	14.50	1.17	0.25
Acetate (μmol/mL)	41.60	43.10	3.34	0.45
Butyrate (μmol/mL)	8.70	8.80	0.86	0.72
Propionate (μmol/mL)	7.90	7.80	0.66	0.91
Acetate:propionate	5.30	5.20	0.41	0.60
Total VFA (μmol/mL)	58.80	60.40	4.45	0.53
<i>Blood parameters</i>				
Glucose (mg/dL)	78.80	80.20	2.98	0.42
Insulin (uIU/mL)	11.10	11.30	2.37	0.89

IGF-1 ¹¹ (ng/mL)	82.90	89.90	18.31	0.47
Ratio glucose:insulin	9.20	9.50	1.83	0.72
<i>Infrared termography (°C)</i>				
Cheek	35.30	34.70	0.45	0.37
Right rib	35.70	35.20	0.68	0.71
Left flank	36.60	34.80	0.82	0.08
Front	33.20	31.40	1.30	0.24
Muzzle	31.90	29.20	1.27	0.26
Front limb	35.30	33.00	1.29	0.34
Hind limb	30.80	29.70	1.28	0.50

¹RFI = Residual feed intake;

²HE = High efficiency;

³LE = Low efficiency;

⁴SEM = Standard error of mean;

⁵TTB = Total time at the bin;

⁶CTB = Consumption time at the bin;

⁷NVB = Number of visits to the feed bin with consumption;

⁸TTW = Total time at the water bin;

⁹NVW = Number of visits to the water bin;

¹⁰N-NH₃ = Ammonia nitrogen content;

¹IGF-1 = Insulin-like growth hormone.

Table 4: Phenotypic correlation of DMI, ADG, and RFI with the performance indexes and evaluated variables in dairy heifers phenotypically classified for RFI.

Item	DMI¹	ADG²	RFI³
<i>Intake/Performance</i>			
<i>RFI</i>	-	-	-
DMI	-	0.60***	0.78***
Water intake	-	0.50**	-
ADG	0.60***	-	-
Initial body weight	0.37*	0.57**	-
Final body weight	0.56**	0.91***	-
<i>Ingestive behaviour</i>			
TTB ⁴	-	0.06**	-
CTB ⁵	-	0.06**	-
NVB ⁶	0.43*	-	0.38*
TTW ⁷	0.18***	0.18***	-0.13***
NVW ⁸	0.18***	0.18***	0.04*
<i>Blood variables</i>			
Glucose	0.33**	0.35**	-
IGF-1 ⁹	0.30**	0.31**	-

¹DMI = Dry matter intake;

²ADG = Average daily gain;

³RFI = Residual feed intake;

⁴TTB = Total time at the bin;

⁵CTB = Consumption time at the bin;

⁶NVB = Number of visits to the feed bin with consumption;

⁷TTW = Total time at the water bin;

⁸NVW = Number of visits to the water bin;

⁹IGF-1 = Insuline-like growth factor 1;

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.0001$ and (-) no significance.

HE-RFI animals can reach a difference of up to 22% in NVB [9, 23]. In the present study, the difference was 16.9%. These findings showed that the HE animals had less consumption time and consequently less intake in fewer visits and, as a result, fed more slowly and moved less often to go to the trough. Similar behavior was observed in Holstein heifers (5 to 9 months of age) [24]. Although our results are not in full agreement with previous studies, it is plausible to suppose, as suggested by these authors, that the HE groups possibly employed less energy in food events, so the energy saved could be used in other metabolic and physiological functions.

Regarding water intake behavior, TTW (16 vs. 11 min) and NVW (5.9 vs. 5.5) differed between groups ($P < 0.0001$), being higher for HE-RFI animals (Table 3). In the present study, the HE animals consumed less food associated with higher TTW and water consumption, suggesting that the water intake is related to physiological functions in other tissues that contributed to the phenotypic divergence in RFI.

3.3. *Ruminal Fermentation*

We hypothesized that some changes could be observed between the groups, since part of the feed efficiency is related to digestion and energy metabolism [25], but this was not

confirmed by the results cause no differences were observed in any ruminal fermentation variables (Table 3). Guan et al. [26] observed a higher concentration of butyrate in HE-RFI animals and a higher concentration of total VFA and acetate in LE-RFI animals ($P = 0.059$ and $P = 0.074$). These authors suggested there was increased microbial activity in HE-RFI animals. However, as in the present study, no variation in the ruminal fermentation profile was found by other authors [2, 27]. Nevertheless, according to Trevizan et al. [2], other factors may have greater relevance to the efficiency of these animals than the ruminal fermentation profile. In this sense, Elolimy et al. [5] were found different profiles of microorganisms and different metabolic potential associated with metabolites of energetic pathways between low and high-efficiency Holstein heifers at birth and during preweaning.

For rumen functioning, factors such as food, water, and microorganisms are necessary, and the variation in their quantity and quality may interfere with ruminal parameters and with their development [22]. However, the variation in the concentration of VFA is most evident in the preweaning phase when intense changes in rumen development occur. Heifers in this study received a solid diet of high granulometry and hay while still in the preweaning phase, which may have had a positive effect on most of the rumen development in this phase of life, causing the animals to reach postweaning with similar ruminal developed.

3.4. Blood Metabolites and Hormones

No differences were observed in glucose, insulin, and IGF-1 concentrations, and the glucose:insulin ratio between HE and LE groups for RFI (Table 3), which was corroborated in a research that found no difference in glucose concentration between HE-RFI and LE-RFI [28]. However, moderate correlation was observed between glucose and DMI (0.33; $P = 0.0017$) and between glucose and ADG (0.35; $P = 0.0009$) (Table 4). These findings were similar to those of other works that reported significant effects of glucose concentrations on DMI and ADG [9,

29]. As suggested in these works, this effect would be the result of the physiological increase in DMI as the age of the animal advances. Diet type and composition may affect the way IGF-1 and RFI relate to each other and may generate positive correlations between IGF-1 and RFI in high roughage diets as well as negative correlations when using highly concentrated diets [30]. In our study, as with glucose, IGF-1 had a moderate correlation with DMI (0.30; $P = 0.0066$) and ADG (0.31; $P = 0.0035$). However, a correlation between IGF-1 and RFI was not observed, contrary to what was found in another work that reported moderate correlation between both [31]. DMI elevates the insulin concentration in response to nutrient absorption by the gastrointestinal tract. In the present study, a divergence in insulin concentration was expected to be found that would demonstrate a possible superiority of metabolic efficiency of HE-RFI. Nevertheless, this hypothesis was not confirmed since unlike glucose and IGF-1, insulin and glucose:insulin ratio did not correlate with DMI and ADG. We do not recommend their use when studying phenotypic divergence in RFI for heifers.

3.5. Infrared Thermography

No differences were found in infrared thermography between HE-RFI and LE-RFI. However, although there was no difference between the groups considering the entire evaluation period, a difference was detected only in the infrared thermography at 30 d. The maximum left flank temperature at 30 d was 36.6 °C for HE-RFI and 34.8 °C for LE-RFI ($P = 0.0292$) and the muzzle 31.9 °C for HE-RFI and 29.1 °C for LE-RFI ($P = 0.0218$) (Table 3). In previous works on beef cattle, authors reported greater temperatures on the cheek, muzzle, and anterior limb regions in LE-RFI animals [10, 32]. The researchers suggested that HE-RFI animals would have greater energy efficiency and thus lower surface temperatures. In contrast, another work reported higher surface temperatures in the front of HE-RFI animals [33]. These authors suggest that greater feed efficient animals had higher surface temperature related to

their metabolic efficiency [34], which led to greater heat dissipation by radiation. Although differences were observed at 30 d for the HE and LE groups, the present study does not support that infrared thermography would be a potential tool for finding RFI phenotypic divergence in heifers due to the weaker correlation between the thermographic variables and classification of these index.

5. Conclusions

Phenotypic divergence was observed in the dairy heifers studied for RFI, so it can be said that the feed and water intake, and number of visits to the feed bin were identified to be good predictors of said divergence. Ruminant and blood parameters, ingestive behavior, and infrared thermography evaluated in this work were not good predictors of phenotypic divergence for RFI in dairy heifers. Future studies should be conducted to explain the relationship of these variables to the biological bases that lead to the difference in feed efficiency in animals.

Acknowledgments: We thank the EMBRAPA for the financial support, the farm personnel and students who assisted with this project, and the EMBRAPA and Canoa farm that allowed us to use the animals in this study.

Conflicts of Interest: The author declares no conflict of interest. The funders played no role in the design of the study; collection, analysis, and interpretation of data; or preparation or approval of the manuscript.

References

1. Britt, J.H.; Cushman, R.A.; Dechow, C.D.; Dobson, H.; Humblot, P.; Hutjens, M.F.; Jones, G.A.; Ruegg, P.S.; Sheldon, I.M.; Stevenson, J.S. 2018. Invited review: Learning from the

future – A vision for dairy farms and cows in 2067. *J. Dairy Sci.*, 101, pp. 1-20. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14025>.

2. Trevizan, N.; Canesin, R.C.; Branco, R.H.; Batalha, C.D.A.; Cyrillo, J.N.S.G.; Bonilha, S.F.M. 2021. Growth, ruminal and metabolic parameters and feeding behavior of Nelore cattle with different residual feed intake phenotypes. *Livestock Science*, 244, 104393. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104393>.

3. Koch, R.M.; Swiger, L.A.; Chambers, D.; Gregory, K.E. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 22, pp. 486-494. <https://doi.org/10.2527/jas1963.222486x>.

4. Berry D.P, Crowley J.J., 2012. Residual intake and body weight gain: A new measure of efficiency in growing cattle. *J. Anim. Sci.*, 90, pp. 109-115. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4245>.

5. Elolimy, A.; Alharthi, A.; Zeineldin, M.; Parys, C.; Loor, J.J. 2020. Residual feed intake divergence during the preweaning period is associated with unique hindgut microbiome and metabolome profiles in neonatal Holstein heifer calves. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11:13. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0406-x>.

6. VandeHaar, M.J.; Armentano, L.E.; Weigel, K.; Spurlock, D.M.; Tempelman, R.J.; Veerkamp, R. 2016. Harnessing the genetics of the modern dairy cow to continue improvements in feed efficiency. *J. Dairy Sci.*, 99, pp. 4941-4954. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10352>.

7. Herd, R.M.; Oddy, V.H.; Richardson, E.C. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44, pp. 423-430. <https://doi.org/10.1071/EA02220>.

8. Nkrumah, J.D.; Basarab, J.A.; Wang, Z.; Li, C.; Price, M.A.; Okine, E.K.; Crews Jr, D.H.; Moore, S.S. 2007. Genetic and phenotypic relationships of feed and measures of efficiency

with growth and carcass merit of beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 85, pp. 2711-2720.
<https://doi.org/10.2527/jas.2006-767>.

9. Kelly, A.K.; McGee, M.; Crews Jr, D.H.; Fahey, A.G.; Wylie, A.R.; Kenny, D.A. 2010. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. *J. Anim. Sci.*, 88, pp. 109-123.
<https://doi.org/10.2527/jas.2099-2196>.

10. Montanholi, Y.R.; Swanson, K.C.; Palme, R.; Schenkel, F.S.; McBride, B.W.; Lu, D.; Miller, S.P. 2010. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. *Animal*, 4, pp. 692-701.
<https://doi.org/10.1017/S1751731109991522>.

11. Leão, J.M., Coelho, S.G.; Machado, F.S.; Azevedo, R.A.; Lima, J.A.M.; Carneiro, J.C.; Lage, C.F.A.; Ferreira, A.L.; Pereira, L.G.R.; Tomich, T.R.; Campos, M.M. 2018. Phenotypically divergent classification of preweaned heifer calves for feed efficiency indexes and their correlations with heat production and thermography. *J. Dairy Sci.*, 101, pp. 1-9.
<https://doi.org/10.3168/jds.2017-14109>.

12. AOAC. 2019. Association of Official Analytic Chemists – AOAC. Official Methods of Analysis. 21th ed. Gaithersburg, M.D.:
AOAC International.

13. Van Soest, P.J.; Robertson, J.B.; Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74, pp. 3583-3597.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).

14. NRC. 2001. National Research Council – NRC. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. Washington, D.C.

15. Oliveira Jr, B.R.; Ribas, M.N.; Machado, F.S.; Lima, J.A.M.; Cavalcanti, L.F.L.; Chizzotti, M.L.; Coelho, S.G. 2018. Validation of a system for monitoring individual feeding and

drinking behavior and intake in young calves. *Animal*, 12, pp. 634-639. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002002>.

16. INCT-CA. 2012. Methods for Food Analysis. INCT 14, pp. 199-204.

17. Lage, C.F.A.; Coelho, S.G.; Neto, H.C.D.; Malacco, V.M.R.; Rodrigues, J.P.C.; Sacramento, J.P.; Teixeira, V.A.; Machado, F.S.; Pereira, L.G.R.; Tomich, T.R.; Campos, M.M. 2020. Relationship between feed efficiency indexes and performance, body measurements, digestibility, energy partitioning, and nitrogen partitioning in pre-weaned dairy heifers. *PLoS ONE*, 15(7), e0236118, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236118>.

18. Basarab, J.A.; Price, M.A.; Aalhus, J.L.; Okine, E.K.; Snelling, W.M.; Lyle, K.L. 2003. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 83, pp. 189-204. <https://doi.org/10.4141/A02-065>.

19. McDonnell, R.P.; Hart, K.J.; Boland, T.M.; Kelly, A.K.; McGee, M.; Kenny, D.A. 2016. Effect of divergence in phenotypic residual feed intake on methane emissions, ruminal fermentation, and apparent whole-tract digestibility of beef heifers across three contrasting diets. *J. Anim. Sci.*, 94, pp. 1179-1193. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0080>.

20. Beede, D.K. 1993. Water nutrition and quality for dairy cattle. In Western Large Herd Management Conference, Las Vegas, Nevada, pp. 193-205.

21. Wickramasinghe, H.K.J.P.; Kramer, A.J.; Appuhamy, J.A.D.R.N. 2019. Drinking water intake of newborn dairy calves and its effects on feed intake, growth performance, health status, and nutrient digestibility. *J. Dairy Sci.*, 102, pp. 377-387. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15579>.

22. Beede, D.K., 2005. The most essential nutrient: Water. Proceedings of the 7th Western Dairy Management Conference, Reno, Nevada, pp. 13-32.

23. Nkrumah, J.D.; Okine, E.K.; Mathison, G.W.; Schmid, K.; Li, C.; Basarab, J.A.; Price, M.A.; Wang, Z.; Moore, S.S. 2006. Relationship of feedlot feed efficiency, performance, and

feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 84, pp. 145-153. <https://doi.org/10.2527/2006.841145x>.

24. Green, T.C.; Jago, J.G.; Macdonald, K.A.; Waghorn, G.C. 2013. Relationship between residual feed intake, average daily gain, and feed behavior in growing dairy heifers. *J. Dairy Sci.*, 96, pp. 3098-3107. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6087>.

25. Berry, D.P.; Crowley, J.J. 2013. Cell Biology Symposium: Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 91, pp. 1594-1613. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5862>.

26. Guan, L.L.; Nkrumah, J.D.; Basarab, J.A.; Moore, S.S. 2008. Linkage of microbial ecology to phenotype: correlation of rumen microbial ecology to cattle's feed efficiency. *Microbol. Lett.*, v.288, p.85-91. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2008.01343.x>.

27. Lam, S.; Munro, J.C.; Zhou, M.; Guan, L.L.; Schenkel, F.S.; Steele, M.A.; Miller, S.P.; Montanholi, Y.R. 2018. Associations of rumen parameters with feed efficiency and sampling routine in beef cattle. *Animal*, 13, pp. 1442-1450. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002750>.

28. Silva, D.C.; Ribeiro, L.G.P.; Lima, J.A.M.; Machado, F.S.; Ferreira, A.L.; Tomich, T.R.; Coelho, S.G.; Maurício, R.M.; Campos, M.M. 2020. Grouping crossbred Holstein x Gyr heifers according to different feed efficiency indexes and its effects on energy and nitrogen partitioning, blood metabolic variables and gas exchanges. *PLoS ONE*, 15(9), e0238419. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238419>.

29. Kariza, B.K.; Thompson, J.; Wang, Z.; Li, C.; Montanholi, Y.R.; Miller, S.P.; Moore, S.S.; Plastow, G.S. 2014. Plasma metabolites associated with residual feed intake and other productivity performance traits in beef cattle. *Livestock Science*, 165, pp. 200-211. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.03.002>.

30. Moore, K.L.; Johnston, D.J.; Graser, H.U.; Herd, R. 2005. Genetic and phenotypic relationships between insulin-like growth factor-I (IGF-I) and net feed intake, fat, and growth

traits in Angus beef cattle. *Australian Journal of Research*, 56, pp. 211-218.
<https://doi.org/10.1071/AR04248>.

31. Brown, E.G.; Carstens, G.E.; Fox, J.T.; Curley Jr, K.O.; Bryan, T.M.; Slay, L.J. 2004. Physiological indicators of performance and feed efficiency traits in growing steers and bulls. Beef Cattle Research, Texas, pp. 163-166.

32. DiGiacomo, K.; Marett, L.C.; Wales, W.J.; Hayes, B.J.; Dunshea, F.R.; Leury, B.J. 2014. Thermoregulatory differences in lactating dairy cattle classed as efficient or inefficient based on residual feed intake. *Animal Production Science*, 54, 1877-1881.
<https://doi.org/10.1071/AN14311>.

33. Martello, L.S.; Silva, S.L.; Gomes, R.C.; Corte, R.R.P.S.; Leme, P.R. 2016. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. *Int. J. Biometeorol.*, 60, pp. 173-181.
<https://doi.org/10.1007/s00484-015-1015-9>.

34. Thompson, S.; Schaefer, A.L.; Crow, G.H.; Basarab, J.; Colyn, J.; Ominski, K. 2018. Relationship between residual feed intake and radiated heat loss using infrared thermography in young bulls. *J. Therm. Biol.*, 78, pp. 304-311. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.10.007>.

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "Influência de características genéticas, produtivas, metabólicas, comportamentais, de saúde e econômicas na eficiência alimentar em novilhas Gir na fase de recria em confinamento e pastejo", protocolada sob o CEUA nº 1201110717, sob a responsabilidade de **Mariana Magalhães Campos e equipe; Fernanda Samarini Machado; Hilton do Carmo Diniz Neto; Luiz Gustavo Bruno Siqueira; Luiz Gustavo Ribeiro Pereira; Mayara Campos Lombardi; Mirton José de Frota Morenz; Thierry Ribeiro Tomich; Wanessa Araújo Carvalho** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **aprovada** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Embrapa Gado de Leite (CEUA/EGL) na reunião de 22/08/2017.

We certify that the proposal "Influência de características genéticas, produtivas, metabólicas, comportamentais, de saúde e econômicas na eficiência alimentar em novilhas Gir na fase de recria em confinamento e pastejo", utilizing 48 Bovines (48 females), protocol number CEUA 1201110717, under the responsibility of **Mariana Magalhães Campos and team; Fernanda Samarini Machado; Hilton do Carmo Diniz Neto; Luiz Gustavo Bruno Siqueira; Luiz Gustavo Ribeiro Pereira; Mayara Campos Lombardi; Mirton José de Frota Morenz; Thierry Ribeiro Tomich; Wanessa Araújo Carvalho** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **approved** by the Ethic Committee on Animal Use of the Embrapa Gado de Leite Corporate (CEUA/EGL) in the meeting of 08/22/2017.

Finalidade da Proposta: **Pesquisa**

Vigência da Proposta: de **09/2017** a **09/2019** Área: **Núcleo Produção E Bem Estar Animal**

Origem: **Campo Experimental José Henrique Bruschi**

Espécie: **Bovinos** sexo: **Fêmeas** idade: **3 a 30 meses** N: **48**

Linhagem: **Gir** Peso: **90 a 450 kg**

Resumo: A identificação de animais mais eficientes no aproveitamento do alimento consumido é uma das alternativas para vencer os desafios como o aumento dos custos de produção, crescente

Gado de Leite

percepção dos consumidores quanto à segurança dos alimentos, bem-estar animal e impactos ambientais da agropecuária. Como os gastos com alimentação representam o principal custo da atividade pecuária, diferenças entre os animais na conversão da dieta consumida em carne e leite são de grande relevância. Animais que utilizam os alimentos de forma mais eficiente necessitam consumir menos para atingir o mesmo nível de produção, e desta forma, são mais lucrativos e produzem mais alimento por unidade de área. Além disso, o aumento da eficiência alimentar proporciona menor desperdício e excreção de nutrientes, com implicações ambientais positivas. Desta maneira, o presente projeto objetiva determinar a influência de características genéticas, de produção, metabolismo, saúde e comportamento na eficiência alimentar em gado de leite e os impactos econômicos. Serão conduzidos experimentos para determinação da eficiência alimentar de fêmeas Gir nas fases de cria e recria, permitindo a geração de uma base de dados consistente a partir da mesma população de animais. Durante os ensaios de eficiência alimentar, serão mensurados parâmetros relacionados ao metabolismo (partição dos nutrientes ingeridos e eficiência bioenergética), à reprodução e ao comportamento, e então serão estudadas as associações destas características com a eficiência alimentar nos animais das diferentes categorias avaliadas. Os parâmetros comportamentais serão mensurados por meio do uso de tecnologias de precisão, dentre as quais cochos e bebedouros eletrônicos para avaliação da dinâmica de consumo e do comportamento alimentar, sensores de ruminação e de atividade. As técnicas de respirometria por máscara facial e termografia serão

utilizadas em busca de ferramentas de mensuração indiretas que possuam alta associação com eficiência alimentar. Também será realizada análise do perfil transcricional em tecido hepático, permitindo a identificação de vias metabólicas específicas diferencialmente expressas em animais com fenótipos divergentes para eficiência alimentar, além da avaliação da relação entre o perfil da comunidade microbiana ruminal e a eficiência alimentar. Essas avaliações permitirão alcançar avanços conceituais e metodológicos na avaliação da eficiência alimentar para bovinos leiteiros e a identificação de ferramentas para mensuração indireta e menos laboriosa desta característica, a fim de viabilizar a ampliação da geração de fenótipos qualificados para eficiência alimentar. A estruturação do modelo conceitual de captação, armazenamento e análise de dados de experimentos permitirá o desenvolvimento de métricas de eficiência alimentar em gado de leite. Os resultados a serem gerados neste projeto contribuirão para o aumento da produtividade e economicidade dos sistemas de produção de leite no Brasil, consolidando o país como líder, não só na produção de alimentos, mas também na geração de tecnologias sustentáveis para produção animal nos trópicos.

Local do experimento: Retiro da Genizinha no Setor de Recria de Precisão

Juiz de Fora, 22 de agosto de 2017



Dra. Glaucyana Gouvêa dos Santos
Coordenadora da Comissão de Ética
no Uso de Animais – Embrapa Gado de Leite



Dra. Letícia Sayuri Suzuki
Vice-Coordenadora da
Comissão de Ética no Uso de
Animais – Embrapa Gado de Leite