



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

CAMPUS DE ITAPETINGA/BAHIA

**METABOLISMO EM NOVILHAS GIROLANDO COM
FENÓTIPOS DIVERGENTES PARA EFICIÊNCIA
ALIMENTAR**

Autora: Danieli Cabral da Silva

Orientador: Prof. D.Sc. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira

Coorientadoras: D.Sc. Mariana Magalhães Campos

D.Sc. Juliana Aparecida Mello Lima

ITAPETINGA

BAHIA – BRASIL

2017

DANIELI CABRAL DA SILVA

**METABOLISMO EM NOVILHAS GIROLANDO COM
FENÓTIPOS DIVERGENTES PARA EFICIÊNCIA ALIMENTAR**

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

ITAPETINGA

BAHIA – BRASIL

2017

636.085 Silva, Danieli Cabral da
S579m Metabolismo em novilhas girolando com fenótipos divergentes para eficiência alimentar. / Danieli Cabral da Silva. - Itapetinga: UESB, 2017. 85f.

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Sob a orientação do Prof. D.Sc. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira e coorientação da D.Sc. Mariana Magalhães Campos e D.Sc. Juliana Aparecida Mello Lima.

1. Novilhas girolando - Calorimetria. 2. Consumo alimentar residual. 3. Termografia infravermelha. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. II. Pereira, Luiz Gustavo Ribeiro. III. Silva, Mariana Magalhães. IV. Lima, Juliana Aparecida Mello. V. Título.

CDD(21): 636.085

Catálogo na fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB/5-535

Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para Desdobramento por Assunto:

1. Novilhas girolando - Calorimetria
2. Consumo alimentar residual
3. Termografia infravermelha

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA - PPZ
Área de Concentração: Produção de Ruminantes

Campus Itapetinga-BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: "Metabolismo em novilhas Girolando com fenótipos divergentes para eficiência alimentar".

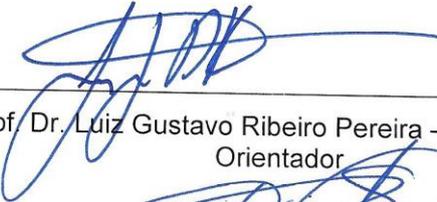
Autor (a): Danieli Cabral da Silva

Orientador (a): Prof. Dr. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira

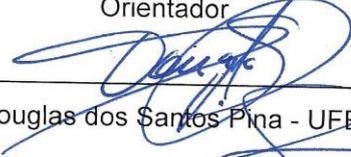
Co-orientador (a): Dr^a. Mariana Magalhães Campos

Dr^a. Juliana Aparecida Mello Lima

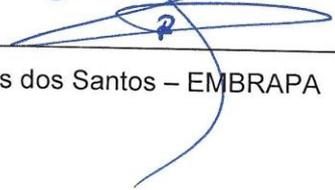
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ZOOTECNIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PRODUÇÃO DE RUMINANTES, pela Banca Examinadora:



Prof. Dr. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira – EMBRAPA
Orientador



Prof. Dr. Douglas dos Santos Pina - UFBA



Prof. Dr. Rafael Dantas dos Santos – EMBRAPA

Data de realização: 30 de janeiro de 2017.

DEDICATÓRIA

Ao meu Pai Francisco,

À minha mãe Natalice.

Vocês, que me ensinaram os valores pessoais;

Sem terem acesso, souberam mostrar a importância da educação;

Estiveram comigo em meio a distância,

Dificuldades e conquistas.

Dedico.

AGRADECIMENTO

A Deus, por abençoar e iluminar meus estudos;

Aos meus pais Francisco e Natalice, pelo amor, educação, dedicação, confiança, paciência e compreensão dos momentos de ausência pelos estudos;

Aos meus irmãos Silvane, Eli José, Silmara e Everton e às minhas sobrinhas Nathali Vitória e Maria Valentina, pela irmandade, apoio, incentivo e por estarmos unidos em meio a distância;

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, professores e funcionários, por ter possibilitado desenvolver este trabalho, assim como todo apoio, e à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos;

Ao meu orientador Luiz Gustavo, peça chave na pós-graduação, obrigado pela oportunidade, conhecimento e profissionalismo. Às coorientadoras, Mariana Magalhães e Juliana Mello Lima, pela colaboração durante todo o desenvolvimento das atividades do experimento, assim como na escrita, pela paciência e perseverança em meu trabalho;

Aos pesquisadores do grupo de pesquisa de nutrição, meu orientador e coorientadora já citados, Fernanda Samarine Machado e Thierry Ribeiro Tomich. Aos pós-doutorandos da equipe Juliana Mello Lima, Alexandre Lima Ferreira e Daniela Oss;

À Susane Dill, pela dedicação ao decorrer de todo experimento, abraçando as responsabilidades para que os resultados do projeto fossem executados da melhor maneira possível;

Aos meus irmãos que a pós-graduação me presenteou, Mauricio Civiero, Rebeca, Milane, Aloma, Roman Polinarte, Raquel e Adolfo, pela convivência, ajuda mútua e o companheirismo sempre presente em nós;

Ao Gustavo pelo apoio, carinho, compreensão, ajuda e por presenciar essa etapa de minha vida;

À família mineira do seu Geraldo Moreira, que me acolheu prontamente, como um de seus filhos, proporcionaram-me grandes momentos familiares;

Aos funcionários, residentes e estagiários da EMBRAPA, pela contribuição, dedicação e força nos trabalhos diários, durante o experimento e nesse um ano e meio de bom convívio em todos os setores da fazenda experimental;

Ao Prof. Mário Slomp que, desde a graduação, acompanha e incentiva cada etapa dos estudos para me tornar uma profissional cada vez mais qualificada;

Á cada um de vocês a minha eterna gratidão. **Muito Obrigada!**

BIOGRAFIA

DANIELI CABRAL DA SILVA, filha de Natalice Cabral da Silva e Francisco Lima da Silva, nasceu em Rebouças, no estado do Paraná, no dia 05 de agosto de 1991. Em dezembro de 2014, concluiu o curso de Medicina Veterinária, nas Faculdades Integradas do Vale do Iguaçu - UNIGUAÇU. Em março de 2015, iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós Graduação em Zootecnia, área de concentração Produção de Ruminantes, na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, realizando estudos na área de nutrição de ruminantes na Embrapa Gado de Leite. Em dezembro de 2016, obteve aprovação para curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia na Universidade Federal do Paraná.

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| LISTA DE FIGURAS | viii |
| LISTA DE TABELAS | ix |
| LISTA DE ABREVIATURAS | x |
| RESUMO | xiii |
| ABSTRACT | xv |
| 1.1 INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.2 EFICIÊNCIA ALIMENTAR | 18 |
| 1.2.1 Eficiência de Conversão Alimentar (ECA) | 19 |
| 1.2.2 Consumo Alimentar Residual (CAR)..... | 20 |
| 1.2.3 Ganho de Peso Residual (GPR)..... | 21 |
| 1.3 DIGESTIBILIDADE APARENTE E PARTIÇÃO DE ENERGIA | 22 |
| 1.4 BALANÇO DE NITROGÊNIO | 24 |
| 1.5 TROCAS GASOSAS E PRODUÇÃO DE CALOR (PC)..... | 26 |
| 1.6 PERFIL METABÓLICO E HORMONAL..... | 27 |
| 1.6.1 Ácidos Graxos Não Esterificados..... | 28 |
| 1.6.2 β -hidroxibutirato..... | 29 |
| 1.6.3 Glicose..... | 30 |
| 1.6.4 Insulina | 30 |
| 1.7 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA..... | 31 |
| II OBJETIVOS | 32 |
| 2.1 Objetivo Geral..... | 32 |
| 2.2 Objetivos Específicos..... | 33 |
| III MATERIAL E MÉTODOS | 33 |
| 3.1 Animais, Instalações e Tratamentos..... | 33 |
| 3.2 Determinação do Consumo no Ensaio da Digestibilidade..... | 35 |
| 3.3 Digestibilidade Aparente e Balanço de Nitrogênio..... | 36 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4 Análises Químico-Bromatológicas | 37 |
| 3.5 Partição Energética, Consumo de O ₂ , Produção de CO ₂ e CH ₄ | 37 |
| 3.6 Parâmetros Sanguíneos | 38 |
| 3.7 Termografia Infravermelha | 38 |
| 3.8 Procedimentos Estatísticos..... | 41 |
| IV RESULTADO E DISCUSSÃO | 42 |
| 4.1 Eficiência Alimentar e Características de Desempenho | 42 |
| 4.2 Consumo e Digestibilidade Aparente..... | 46 |
| 4.3 Partição de Energia | 49 |
| 4.4 Partição do Nitrogênio | 54 |
| 4.5 Trocas Respiratórias e Produção de CH ₄ | 56 |
| 4.6 Metabólitos Sanguíneos e Hormonais..... | 60 |
| 4.7 Termografia Infravermelha | 63 |
| V CONCLUSÃO | 67 |
| VI CONSIDERAÇÕES GERAIS..... | 67 |
| VII REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 68 |

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Imagens Termográficas de novilhas Girolando com fenótipos divergentes 40
- Figura 2.** Partição de energia em novilhas Girolando F1 divergentes para CAR, GPR e ECA (grupo de alta e baixa eficiência representados pelas barras em preto e cinza, respectivamente). ED = energia digestível; EF = energia fecal; EM = Energia Metabolizável; ECH₄ = energia na forma de metano; EU = energia da urina; BE = balanço energético positivo; PC = produção de calor..... 53

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Composição química do concentrado, silagem e dieta total. | 35 |
| Tabela 2. Eficiências pré-experimentais, médias, consumo da dieta total e peso, para alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e eficiência de conversão alimentar (ECA), em novilhas Girolando..... | 45 |
| Tabela 3. Consumo e digestibilidade aparente de nutrientes em novilhas leiteiras com alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e eficiência conversão alimentar (ECA). | 48 |
| Tabela 4. Partição energética em novilhas Girolando F1 divergentes para consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e eficiência de conversão alimentar (ECA)..... | 52 |
| Tabela 5. Partição de nitrogênio em novilhas leiteiras com alta e baixa consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e eficiência de conversão alimentar (ECA)..... | 55 |
| Tabela 6. Consumo de oxigênio e as emissões de dióxido de carbono e metano em novilhas de alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e eficiência de conversão alimentar (ECA). | 58 |
| Tabela 7. Avaliação hormonal e de metabólitos de alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e eficiência de conversão alimentar (ECA), em novilhas Girolando. | 62 |
| Tabela 8. Características da Termografia Infravermelha em alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e eficiência de conversão alimentar (ECA), em novilhas Girolando. | 64 |
| Tabela 9. Correlações de Pearson ou Serman entre os índices de EA (CAR, GPR e ECA) e parâmetros de consumo, digestibilidade, partição energética, partição de nitrogênio, trocas gasosas, metabólitos sanguíneos, hormônios e temperaturas máximas de diferentes partes anatômicas obtidas por termografia infravermelha | 65 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|-----------------|---|
| AA | Aminoácidos |
| AGNE | Ácidos Graxos Não Esterificados |
| AGVs | Ácidos Graxos Voláteis |
| BE | Balanço Energético |
| BEN | Balanço Energético Negativo |
| BHBA | Beta hidroxibutirato |
| CA | Conversão Alimentar |
| CAR | Consumo Alimentar Residual |
| CEB | Consumo de Energia Bruta |
| CEM | Consumo de Energia Metabolizável |
| CEUA | Comissão de Ética no Uso de Animais |
| CGR | Consumo e Ganho Residual |
| CH ₄ | Gás Metano |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| Cm | Centímetros |
| CMS | Consumo de Matéria Seca |
| CNF | Carboidratos Não Fibrosos |
| CR | Câmaras Respirométricas |
| CV | Coeficiente de Variação |
| DP | Desvio Padrão |
| EA | Eficiência Alimentar |
| EB | Energia Bruta |
| ECA | Eficiência de Conversão Alimentar |
| ECC | Escore de Condição Corporal |
| ED | Energia Digestível |
| EE | Extrato Etéreo |
| EF | Energia Fecal |
| EL | Energia Líquida |
| EM | Energia Metabolizável |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |

| | |
|----------------|---|
| EPC | Eficiência Parcial de Crescimento |
| ER | Energia Retida |
| FDA | Fibra em Detergente Ácido |
| FDN | Fibra em Detergente Neutro |
| GEE | Gases do Efeito Estufa |
| g/d | Gramas por Dia |
| GMD | Ganho Médio Diário |
| GPD | Ganho de Peso Diário |
| GPR | Ganho de Peso Residual |
| h | Horas |
| H ₂ | Hidrogênio |
| HG | Holandês x Gir |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IC | Incremento Calórico |
| IGF-1 | Fator de Crescimento Semelhante à Insulina-1 |
| IK | Índice de Kleiber |
| IMS | Ingestão de Matéria Seca |
| Kcal | Quilocaloria |
| Kg | Quilograma |
| L | Litro |
| LAA | Laboratório de Análise de Alimentos |
| Mcal | Megacalorias |
| MG | Minas Gerais |
| mg | Miligramas |
| m | Metro |
| mm | Milímetros |
| mL | Mililitro |
| mmol/ L | Milimol por Litro |
| MJ | Megajoule |
| MS | Matéria Seca |
| MO | Matéria Orgânica |
| N | Nitrogênio |
| NDT | Nutrientes Digestíveis Totais |

| | |
|----------------|---------------------------|
| O ₂ | Oxigênio |
| PB | Proteína Bruta |
| PC | Produção de Calor |
| PV | Peso Vivo |
| TIV | Termografia Infravermelho |
| TMR | Total Mixed Ration |
| µg/mL | Micrograma por Mililitro |
| vs | Versus |
| % | Porcentagem |
| °C | Graus Celsius |
| > | Maior |
| < | Menor |

RESUMO

SILVA, D. C. **Metabolismo em novilhas Girolando com fenótipos divergentes para eficiência alimentar.** Itapetinga, BA: UESB, 2017. 85 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia, Área de Concentração em Produção de Ruminantes).*

Avaliaram-se os efeitos da divergência fenotípica para eficiência alimentar (consumo alimentar residual - CAR, ganho de peso residual - GPR e eficiência de conversão alimentar - ECA), na digestibilidade, emissão de metano entérico (CH_4), partição energética, produção de calor (PC), parâmetros sanguíneos, metabolismo de nitrogênio e temperaturas de diferentes regiões corporais. Trinta e cinco novilhas Girolando ($\frac{1}{2}$ Holandês $\frac{1}{2}$ Gir) foram ranqueadas para CAR, GPR e ECA e selecionou-se dois grupos extremos: alta ($n = 12$) e baixa eficiência ($n = 12$). Os animais foram alojados em "tie stall" e receberam dieta total *ad libitum* (75:25, silagem de milho: concentrado, 175,01 g PB/ kg, em base de MS). Foi realizado ensaio de digestibilidade com coleta total de fezes (5 dias) e de urina (2 dias). As trocas respiratórias (consumo de oxigênio (O_2), produção de dióxido de carbono (CO_2) e produção de CH_4) foram medidas em dois períodos de 24h em câmaras respirométricas de circuito aberto. As amostras de sangue foram colhidas por punção venosa coccígea e analisadas quanto às concentrações plasmáticas de insulina, glicose, ácidos graxos não esterificados (AGNE) e β -hidroxibutirato. Imagens termográficas foram obtidas nas regiões do olho, focinho, membro anterior direito e vulva. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado e foi realizado estudo de correlações de Pearson para cada índice de Eficiência alimentar (EA) e as variáveis avaliadas. O teste de Fisher foi utilizado para comparar os dois grupos, adotando-se 0,05 como nível de significância. Novilhas mais eficientes para CAR apresentaram menor concentração de insulina, maior relação glicose:insulina menor β -hidroxibutirato, menor consumo de O_2 e produziram menos CO_2 . A correlação entre CH_4 ($\text{L/kg PV}^{0,75}$) e CAR foi 0,32 ($P=0,03$). A PC (Mcal/GMD) foi 13% inferior para o grupo de baixa eficiência para GPR. O grupo de alta eficiência para GPR apresentou maior consumo de O_2 e produção de CO_2 . Os animais mais eficientes para ECA apresentaram menor PC (48,9 vs 58,2 % EB ingerida). Os animais de maior ECA apresentaram 8% a mais de balanço energético positivo e perderam (12,27 g/d) menos nitrogênio na urina. Não foram observadas

diferenças termográficas entre os grupos mais e menos eficientes para os três índices de EA avaliados e não houve correlação entre os índices de eficiência e as temperaturas para nenhuma das regiões anatômicas avaliadas. As diferenças de parâmetros produtivos, nutricionais, fisiológicos e metabólicos entre os grupos mais e menos eficientes variaram de acordo com o índice de EA adotado. Parâmetros sanguíneos e hormonais podem auxiliar na identificação de animais mais eficientes para CAR. A PC mostrou-se uma variável divergente entre os grupos mais e menos eficientes, independente do índice de eficiência utilizado. Animais de alta eficiência para GPR e ECA emitiram menos CH₄ por kg de ganho de peso do que animais de baixa eficiência. Não foi observada relação entre EA e temperaturas obtidas por TIV em novilhas Girolando F1 criadas em condições tropicais.

Palavras-chave: calorimetria, consumo alimentar residual, digestibilidade, parâmetros sanguíneos, metano, termografia infravermelha.

* Orientador: D.Sc Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, EMBRAPA e Coorientadoras: D.Sc. Mariana Magalhães Campos, EMBRAPA e D.Sc. Juliana Aparecida Mello Lima.

ABSTRACT

SILVA, D. C. **Metabolism in Girolando heifers with divergent phenotypes for feed efficiency**. Itapetinga, BA: UESB, 2017. 85p. Dissertation (Master in Animal Science, Area of Concentration in Ruminant Production). *

This study evaluated the effects of divergent phenotypic ranking for residual feed intake (RFI), residual gain (RG) and feed conversion efficiency (FCE) on digestibility, enteric CH₄ emissions, metabolic partitioning of energy, heat production (HP), blood parameters, nitrogen metabolism and temperature obtained by infrared thermography. Thirty-five heifers F1 (Girolando) were classified for RFI, RG and FCE and two groups were obtained: efficient (n = 12) and inefficient (n = 12). Animals were housed in tie stall and were offered a TMR diet (75:25, corn silage:concentrate 175.01 g CP/kg in DM basis). The digestibility test was measured with a 5-d total fecal and urine collection. Respiratory exchanges (oxygen consumption, CO₂ and CH₄ emissions) were measured over two periods of 24h using open-circuit respiration chambers. Blood samples were collected by coccygeal venipuncture and analyzed for plasma concentrations of insulin, glucose, non esterified fat acids (NEFA) and β -hidroxybutyrate. Infrared images were taken of eye, muzzle, right front limb and vulva. Data were analyzed as a completely randomized design by ANOVA ($P < 0.05$) and correlation coefficients between each feed efficiency parameter and the variables evaluated were calculated. Means from two RFI, RG and FCE categories were tested using the Fisher test. Efficient heifers for RFI presented lower DM intake (500g), lower insulin concentration, higher glucose-insulin ratio and lower β -hidroxybutyrate concentration than inefficient heifers. The most efficient animals (RFI) presented lower consumption of O₂ and produced less CO₂. Positive correlations were estimated between CH₄ (L/kg BW^{0.75}) e RFI was of 0.32 (p= 0.03). HP (Mcal/ADG) was 13% lower for the low efficiency group. The high efficiency group for RG presented higher O₂ consumption and CO₂ production in relation to the low efficiency group. The most efficient animals for FCE presented lower HP (48.9 vs 58.2% GE ingested). The animals with higher FCE presented 8% more EB positive and eliminated (12.27 g / d) less nitrogen in the urine. No thermographic difference was observed between the more and less efficient groups for the three feed efficiency parameter evaluated and there was no correlation between the efficiency indices and the

temperatures for any of the anatomical regions evaluated. Differences in productive, nutritional, physiological and metabolic parameters between the efficient and inefficient groups varied according to the efficiency indices adopted. Blood and hormonal parameters may help to identify more efficient animals for RFI. HP showed to be a divergent variable between the most and least efficient groups for RFI, RG and FCE. High efficiency animals for GPR and ECA emitted less CH₄ per kg of weight gain than low-efficiency animals. There was no relation between EA and temperatures obtained by TIV in Girolando F1 heifers in tropical conditions.

Key words: calorimetry, blood parameters, digestibility, infrared thermography, methane, residual feed intake

* Supervisor: Dr. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, EMBRAPA and Co-Supervisors: D.Sc. Mariana Magalhães Campos, EMBRAPA and D.Sc. Juliana Aparecida Mello Lima.

I- REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 INTRODUÇÃO

O aumento da eficiência dos sistemas de produção na pecuária é essencial para garantir incrementos na produtividade e reduzir os impactos ambientais. Os programas de melhoramento genético de raças leiteiras vêm se tornando mais complexos para enfrentar os novos desafios.

O crescimento da população e a urbanização aumentarão a demanda por produtos de origem animal e também a pressão para incremento da eficiência de utilização dos recursos naturais e de produção (terra, água e energia). Ao mesmo tempo, a demanda social está relacionada ao bem-estar dos animais, redução dos impactos ambientais e uso da terra. A demanda dos consumidores é orientada principalmente em direção à segurança do alimento e à qualidade nutricional de produtos de origem animal. Já a demanda dos produtores, está relacionada à lucratividade e concomitante redução e aumento da eficiência da mão de obra nos sistemas produtivos (Boichard & Brochard, 2012).

Informações relacionadas ao consumo de alimento pelos animais vêm sendo incluídas nos programas de melhoramento com o objetivo de aumentar a eficiência alimentar e reduzir a excreção de nutrientes e a emissão de gases de efeito estufa, seja por meio da nutrição, do manejo e/ou da produção de genótipos superiores.

Sabe-se que existe variação individual na eficiência de utilização dos nutrientes entre animais com características semelhantes (raça, sexo e idade) que ingerem o mesmo tipo de alimento. Porém, não são bem compreendidos os fatores que causam tais diferenças. A seleção de animais que consomem menos para os mesmos pesos corporais, ganho de peso, produção de leite, resulta em progênies divergentes para a mesma característica, indicando haver variação genética na eficiência de utilização dos nutrientes.

Os parâmetros de eficiência alimentar estão bem documentados para bovinos de corte em crescimento e monogástricos, mas para bovinos leiteiros os dados são escassos. O consumo alimentar residual (CAR) foi avaliado em bovinos leiteiros em crescimento (Williams et al., 2011; Waghorn et al., 2012) e vacas em lactação (Coleman et al., 2010; Macdonald et al., 2014; Macdonald et al., 2016) e evidenciaram a divergência para CAR, permitindo a estimativa de valores genéticos para a característica (Pryce et al., 2012).

No Brasil, as pesquisas que envolvem parâmetros de avaliação de EA são recentes e estão focadas principalmente em bovinos de corte e da raça Nelore, preenchendo uma lacuna de falta de informações relacionadas às características de EA para bovinos zebuínos adaptados às condições tropicais (Grion et al., 2014; Oliveira et al., 2014; Chaves et al., 2015; Nascimento et al., 2015; Mercadante et al., 2015; Tizioto et al., 2015; Oliveri et al., 2016). Em 2014, foi iniciado na Embrapa Gado de Leite um projeto de pesquisa focado em EA para bovinos leiteiros, contemplando animais Girolando (*Bos taurus taurus* × *Bos taurus indicus*), já que estima-se que 80% do leite produzido no Brasil provém de vacas que tenham em sua composição genética as raças Gir e Holandês (Silva et al., 2015).

Estudar diferentes índices de EA em condições tropicais é importante para estabelecer métricas que possam ser empregadas nos sistemas de produção, garantindo incrementos na eficiência bioeconômica dos sistemas de produção. A ECA é uma medida tradicional de eficiência para animais leiteiros (Connor et al., 2013). Já o CAR, predominante utilizado em animais de corte (Berry & Crowley, 2012), vem trazendo dados relevantes para a eficiência em vacas leiteiras *Bos taurus* (Coleman et al., 2010; Pryce et al., 2014; Nkrumah et al., 2014; Durunna et al., 2011a, 2015; Lu et al., 2015; Macdonald et al., 2014). O GPR não é um parâmetro adotado para gado de leite, mas pode ser uma característica interessante, principalmente para animais Girolando que podem apresentar menor precocidade, já que existe correlação entre peso corporal e idade à puberdade.

Para obtenção de índices de eficiência alimentar são necessários ensaios experimentais de longa duração e de elevado custo (Wang et al., 2006). Assim, a busca pelo entendimento das bases fisiológicas tem crescido nos últimos anos e pode permitir o desenvolvimento de tecnologias de baixo custo para identificação de animais mais eficientes (Kelly et al., 2010). Nascimento et al. (2015), ao compararem parâmetros sanguíneos entre grupos divergentes para CAR observaram menores concentrações de ureia plasmática e maiores de insulina para o grupo de menor CAR e concluíram que esses parâmetros podem ser utilizados como indicadores de eficiência alimentar.

A termografia infravermelha permite a mensuração da temperatura corporal e foi utilizada como método indireto para identificação de animais mais eficientes por Schaefer et al. (2005) e Montanholi et al. (2007). Animais mais eficientes apresentam menor exigência de energia basal (Richardson et al., 2001; Nkrumah et al., 2006; Castro Bulle et al., 2007). Assim, menor quantidade de calor é dissipada pela superfície corporal

(Kleiber, 1961). Montanholi et al.(2010), encontraram temperatura inferiores na mandíbula e focinho no grupo de novilhos de corte mais eficientes para CAR.

O objetivo do presente estudo foi avaliar a relação entre a classificação fenotípica divergente para o consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e a eficiência de conversão alimentar (ECA) com o consumo, a digestibilidade dos nutrientes, partição energética, emissões de CH₄ entérico, balanço de nitrogênio, metabólitos sanguíneos e termografia infravermelha em novilhas Girolando em condições tropicais.

1.2 EFICIÊNCIA ALIMENTAR

Com o crescimento da população mundial, a pecuária leiteira terá que ser conduzida de forma eficiente para garantir abastecimento de leite e produtos lácteos produzidos de forma sustentável. O aumento da demanda por alimentos de origem animal, a diminuição de terras disponíveis para a produção, os crescentes custos de alimentação, são fatores direcionadores para a busca da eficiência nos sistemas de produção, almejando-se “outputs” semelhantes ou superiores em áreas reduzidas e com menor utilização de recursos naturais (Paddock, 2010).

Na física, a eficiência é a relação existente entre o trabalho realizado e a energia utilizada para este fim (Halliday et al., 2009); na produção animal, apresenta relação com o balanço energético e pode ser obtida pela relação entre a energia ingerida e a contida no produto final (Kellner, 1909).

Melhorar a EA em rebanhos bovinos pode reduzir os impactos negativos da pecuária no ambiente, mitigando as emissões de gases de efeito de estufa (GEE) e as perdas de nutrientes para o ambiente (Bell et al., 2013), contribuindo para a sustentabilidade da pecuária.

Okine et al. (2003), estimaram que a melhora em 5% na EA, sem alteração na taxa de crescimento dos animais, pode resultar em economia nove vezes maior nos custos de alimentação quando comparado à economia gerada pelo aumento em 5% no ganho médio diário, sem qualquer alteração no consumo de ração. Arthur & Herd (2005), também indicaram benefícios econômicos como resultado da redução do consumo de ração, sem alterar o crescimento.

Diante desse cenário, ao qual se somam a cada dia novas exigências da sociedade, governo e ambientalistas, é necessário elevar a produtividade para garantir a rentabilidade

do empreendimento pela diluição dos custos fixos de produção e dos custos de oportunidade do uso do capital.

Segundo Arthur et al. (2008), existe uma variação individual na eficiência de utilização dos nutrientes entre animais com características semelhantes. Dependem de fatores como a ingestão de alimentos, peso corporal, estado fisiológico, composição do ganho de peso, condições ambientais, idade e fatores intrínsecos ligados à eficiência, isto é, taxas de digestão, absorção e eficiência de utilização da energia e proteína metabolizável (NRC, 1996), assim como a digestibilidade da dieta (Paulino et al., 2008), somados à efeitos ambientais.

Diversas foram os parâmetros propostos desde 1960 para avaliar índices alternativos para medir a eficiência alimentar na literatura científica (Archer et al., 1999). Entre esses índices estão a eficiência de conversão alimentar (ECA), eficiência parcial do crescimento (EPC), taxa relativa de crescimento (TRC) descrita por Fitzhugh & Taylor (1971), conversão alimentar (CA), à razão Kleiber (1963), denominado Índice de Kleiber (IK), o consumo alimentar residual (CAR), o ganho de peso residual (GPR) proposto por (Koch et al., 1963) e o consumo e ganho residual (CGR) proposto por Berry & Crowley (2012). Esses índices permitem identificar animais de alta capacidade produtiva com menor utilização de recursos.

1.2.1 Eficiência de Conversão Alimentar (ECA)

A ECA foi um dos primeiros índices utilizados como medida de eficiência alimentar, relaciona a quantidade total de alimento ingerido e a quantidade de produto. A ECA é um índice que representa a eficiência alimentar bruta, é expressa em kg de ganho/kg de MS consumida e apresenta alta correlação com o peso vivo (PV) adulto (Arthur et al., 2001). As variações que ocorrem entre os animais, desde a digestão e absorção de nutrientes, impactam nas exigências de manutenção, na utilização da energia metabolizável para a produção, na partição de nutrientes e composição dos produtos, assim, os índices de eficiência alimentar bruta são considerados imprecisos (Korve, 1988).

A ECA, quando usada como critério de seleção, resulta em animais muito pesados e com exigências nutricionais elevadas, pois as exigências para manutenção e crescimento dos animais não são consideradas (Arthur et al., 1996). Ardnt et al. (2015), ao avaliarem a variação da ECA de vacas em lactação, encontraram maior consumo de MS, menor

excreção de nitrogênio (N) (42%) e menor produção de esterco por kg de leite para os animais mais eficientes. As quantidades diárias de CH₄ e CO₂, expressos por g/d foram semelhantes. A porcentagem de perdas de EB nas fezes foi maior (28,6 vs 25,9%), mas as perdas via urina (2,76 vs 3,40%) e CH₄ (5,23 vs 6,99%) foram menores para o grupo de vacas de alta ECA. Vallimont et al. (2011), estudaram ECA em gado leiteiro e encontraram alta correlação com a produção e reportaram herdabilidade de ($h^2=0,22\pm 0,04$). No entanto reportaram que as vacas mais eficientes apresentaram maior limitação para aumentarem o escore de composição corporal (ECC).

1.2.2 Consumo Alimentar Residual (CAR)

Koch et al. (1963), propuseram um importante indicador de eficiência alimentar, o consumo alimentar residual (CAR), baseado na diferença existente entre a ingestão observada e a estimada de alimentos pelos animais (Arthur et al., 2001), partindo de um pressuposto de Byerly (1941), de que indivíduos com pesos iguais consomem quantidades distintas para um mesmo nível de produção. A estimativa da ingestão de matéria seca esperada pode ser predita a partir dos dados de peso e de produção, utilizando-se as recomendações dos comitês que estabelecem as normas e padrões de alimentação, como o NRC (2001), ou por regressão, utilizando dados de ingestão real do ensaio, dentro de um grupo contemporâneo.

Animais com valores negativos para CAR indicam animais mais eficientes, que necessitam de menos nutrientes para manutenção e taxa de crescimento, resultando na habilidade dos animais em ingerir menor quantidade de alimentos quando comparados aos seus semelhantes e com produções similares. Esse índice permite a seleção de animais de menor ingestão e manutenção, sem mudanças no peso adulto ou no ganho de peso (Basarab et al., 2003).

O CAR é uma medida independente do tamanho, taxa de crescimento, medidas da composição corporal e de variações nos processos metabólicos básicos (Richardson et al., 2001; Basarab et al., 2003; Nkrumah et al., 2006; Castro Bulle et al., 2007; Kelly et al., 2010b; Durunna et al., 2011a). Em estudos que envolveram a comparação de grupos divergentes para CAR em animais jovens e posteriormente na fase adulta (Archer et al., 2002; Herd et al., 2003; Durunna et al., 2011 a, 2015; Macdonald et al., 2014; Gregorini

et al., 2015), indicaram que a eficiência é persistente ao longo da vida produtiva do animal e que pode ser utilizada como critério para seleção de animais adultos mais eficientes.

Richardson & Herd (2004), definiram a base biológica para variação fenotípica para CAR, indicaram a diferença na digestibilidade como responsável por 10% da variação biológica, o nível de atividade em 10%, o incremento calórico em 10%, a composição corporal em 5% e o padrão de alimentação em 2%, já o *turnover* proteico, o metabolismo dos tecidos e o estresse foram responsáveis por 37% e “outros processos de alimentação” com representatividade de 27%.

Nas novilhas leiteiras em crescimento, o CAR é calculado igualmente aos feitos para animais de corte, por regressão, incluindo consumo de alimento previsto, peso vivo metabólico e taxa de ganho de peso (Williams et al., 2011; Waghorn et al., 2012; Lin et al., 2013). Para vacas em lactação o princípio é o mesmo: é calculado como a diferença entre o consumo real e previsto ao longo de um período da lactação. A ingestão prevista é determinada por regressão, incluindo variáveis de alteração do peso vivo metabólico, produção de leite com correção de sólidos ou energia e ocasionalmente o ECC (Connor et al., 2013).

O CAR é apontado como índice de EA que apresenta correlação positiva com emissões diárias de CH₄ em bovinos sem, contudo, comprometer o desempenho e não impactando no peso adulto dos animais (Nkrumah et al., 2006; Hegarty et al., 2007). Assim, pode ser usado como parâmetro de seleção que contribua para a geração de produtos de forma sustentável.

Nos estudos de Davis et al. (2014) e Macdonald et al. (2014; 2016), os grupos de vacas leiteiras, em lactação divergentes para CAR, apresentaram produção de leite semelhantes. Vallimont et al. (2011), reportaram menor PV e ECC para vacas menos eficientes. Já Herd et al. (2014) e Arthur et al. (2010), observaram que bovinos mais eficientes para CAR, apresentam menor gordura entre as costelas em relação aos menos eficientes. Para a utilização do CAR como critério de seleção, esse fato deve ser levado em consideração pois, animais mais eficientes perdem mais PV após o parto e podem ter períodos mais prolongados de balanço energético negativo, prejudicando a fertilidade (Reist et al., 2003; Roche et al., 2007).

1.2.3 Ganho de Peso Residual (GPR)

Outro índice de EA empregado por Koch et al. (1963) foi o GPR, que contempla o ganho de peso ajustado pelo consumo. Para o cálculo é utilizada a mesma equação do CAR, porém para ganho de peso, sendo a diferença entre o GPD observado e estimado com base na IMS e peso vivo metabólico, ou seja, o índice avalia o ganho de peso para cada kg de ingestão de alimento, considerando o mesmo peso corporal (Crowley et al., 2010).

Crowley et al. (2010), consideraram o GPR altamente correlacionado com o ganho de peso e mencionaram que o índice pode ser confundido com as características produtivas. O autor associou GPR com as taxas de crescimento mais rápidas, mas não obteve diferença no consumo de alimento entre os animais avaliados. O GPR é expresso em kg de ganho por dia e valores elevados são desejáveis (Grion, 2012). O GPR permite identificar animais eficientes com elevada taxa de crescimento e não apresenta correlação com peso corporal (Berry & Crowley, 2013). Koch et al. (1963), estimaram 0,28 de herdabilidade e Crowley et al. (2010) 0,62, para GPR em bovinos de corte em crescimento.

O GPR pode ser um parâmetro interessante para os estudos contemplando animais zebuínos e Girolando, já que esses grupos genéticos geralmente apresentam menor precocidade sexual em relação aos animais leiteiros de raças taurinas e o peso corporal apresenta relação com a idade à puberdade. Avaliar esse índice, caracterizando o ganho de peso para cada kg de consumo de alimento, pode ser uma métrica interessante, já que os crescentes custos de alimentação são fatores direcionadores para a busca da eficiência nos sistemas de produção.

1.3 DIGESTIBILIDADE APARENTE E PARTIÇÃO DE ENERGIA

A digestibilidade aparente consiste na capacidade que os nutrientes que compõe o alimento, possuem para disponibilizar energia para o funcionamento do organismo animal (Silva & Leão, 1979) e representam a quantidade de um nutriente consumido por dia e quanto desse não é excretado nas fezes por dia (Kleiber, 1975). O balanço de matéria perdida na passagem pelo trato digestório é o que melhor mensura o aproveitamento de um alimento. Por sua vez, nas fezes, além do alimento não digerido, estão presentes bactérias e perdas endógenas do metabolismo animal (Van Soest, 1994).

A ingestão alimentar voluntária do animal é regulada por três mecanismos: o fisiológico, em que a regulação é fornecida pelo balanço nutricional; o psicogênico, que envolve a resposta do animal a fatores inibidores ou estimuladores, relacionados ao alimento ou ao ambiente; e o físico, relacionado à capacidade de distensão do rúmen, que pode influenciar a taxa de passagem e a taxa de digestão dos alimentos (Mertens, 1992).

Brosh (2007) e Berman (2005), indicaram os principais fatores que afetam a partição da energia nos ruminantes: nível de consumo alimentar, condições ambientais, gasto energético ou PC, nível de produção de leite ou ganho em tecido corporal e variabilidade individual entre animais quanto à eficiência de utilização de energia para manutenção e produção. A composição da dieta influencia na densidade energética, as perdas como: fezes, metano, urina, e calor, interferem no consumo voluntário, produção de leite e mudança de $PV^{0.75}$, podendo alterar a EA (Vandehaar et al., 2016).

Estudos de respirometria calorimétrica permitem o cálculo da partição energética, possibilitando determinar a eficiência de utilização da energia metabolizável para diferentes funções produtivas em distintas raças e seus cruzamentos, e em diferentes condições de alimentação (Ferreira, 2014).

É crescente a necessidade da compreensão dos mecanismos que regulam os gastos de energia em bovinos, juntamente com o entendimento de como melhorar a eficiência da produção e da saúde animal (Derno et al., 2009). Arndt et al. (2015) e Moraes et al. (2015), indicaram a possibilidade de identificação da variação do metabolismo da energia dos animais mais eficientes e consideraram uma característica fenotípica passível de ser utilizada em programas de melhoramento.

Armsby (1917), definiu a energia bruta (EB) como o máximo de energia quantificada durante a combustão completa dos alimentos que pode ser fornecida para atividades vitais e de produção dos animais. É medida em bomba calorimétrica e geralmente 30% da EB é perdida nas fezes (Vandehaar & ST-Pierre, 2006).

A energia digestível (ED) é obtida pela diferença entre a EB ingerida e a eliminada nas fezes (EF). Em relação à EB, a proporção de ED disponível para os animais pode variar de 30% para forragens em estado de maturação adiantado à 90% para grãos de cereais processados de alta qualidade (NRC, 1981; NRC, 2001).

A energia metabolizável (EM) é definida pelo ARC (1980) como a diferença entre a energia bruta do alimento e a energia bruta perdida nas fezes, urina e metano. A produção de metano em ruminantes corresponde, em média, a 6% da energia bruta ingerida

(Johnson & Johnson, 1995). Um litro de metano corresponde a uma perda de 9,47 kcal ou 39,6 KJ de energia (Chwalibog, 2004).

Ao descontar as perdas energéticas já mencionadas, a energia metabolizável pode então ser fracionada ainda em duas partes: a energia produzida na forma de calor pelos diversos processos metabólicos e a energia utilizada na manutenção de funções vitais e formação de produtos como leite e carne (energia retida, ER).

Em média 33% da energia é perdida como incremento calórico (IC) e está associada a todos os processos digestivos e de metabolismo dos nutrientes (Vandehaar & ST-Pierre, 2006). A energia líquida (EL) representa a fração disponível para manutenção e atividades produtivas do animal e depende da PC pelo animal, que está diretamente relacionada ao grau de atividade muscular e à temperatura do ambiente (Meigs, 1925).

O custo energético para a manutenção representa de 70-75% da energia consumida (Ferrell & Jenkins, 1998; NRC, 1984). A variação nas exigências de manutenção podem variar de 10 a 12 % e impactar na EA (Hotovy et al., 1991; Swanson & Miller, 2008).

A quantidade da energia bruta ingerida disponível para a produção de leite pode ser incrementada reduzindo-se as perdas nas fezes, urina, CH₄, manutenção, ganho de peso ou produção de calor. Assim, a quantificação da partição energética é importante para nortear os esforços para melhoria da EA (Arndt et al., 2015).

As diferenças metabólicas em novilhos divergentes para CAR geralmente estão associadas à partição de energia (perda de energia fecal, metano e urinário), produção de calor e retenção de energia (Delfino & Mathison, 1991; Saama & Mao, 1995; Basarab et al., 2003). A PC (163,97 vs 129,32 kcal/kg PV^{0,75}) diária e a retenção de energia (75,34 vs 135,23 kcal/kg PV^{0,75}) foram inferiores em 21 e 10% para o grupo baixo CAR comparado aos animais menos eficientes (Nkrumah et al., 2014).

Arndt et al. (2015), evidenciaram que vacas de alta ECA consomem 20% a mais de EB e 16% a mais de ED em relação às menos eficientes. A perda fecal foi superior em 33% para as vacas de alta ECA. Já para as perdas diárias de energia fecal e urinária na forma de CH₄, não foram observadas diferenças entre os dois grupos.

1.4 BALANÇO DE NITROGÊNIO

A avaliação do balanço de nitrogênio no animal permite a obtenção de informações a respeito da nutrição proteica dos ruminantes, o que pode ser importante para evitar

prejuízos produtivos, reprodutivos e ambientais decorrentes do fornecimento de quantidades excessivas de proteína ou da inadequada sincronia energia:proteína no rúmen (Pessoa et al., 2009).

Em bovinos, a eficiência de utilização do nitrogênio (N; g de N em produto/g de N consumido) é baixa quando comparada à outras espécies (ex. suínos, aves). Por esta razão, há uma excreção excessiva de compostos nitrogenados para o meio ambiente. No entanto, o entendimento dos mecanismos envolvidos no controle do metabolismo de N, tais como a eficiência de captura do N reciclado no rúmen e o metabolismo de aminoácidos (AA), pode ser importante para o desenvolvimento de práticas de manejo que permitam a melhoria da eficiência de utilização do N (Batista et al., 2015).

Além do teor proteico, a composição da dieta pode afetar a amplitude da excreção de N para o meio ambiente. Nesse caso, devem ser consideradas as necessidades de sincronização das taxas de liberação de energia e de N no rúmen e de quantidades não limitantes de aminoácidos essenciais na fração de proteína metabolizável da dieta (Cela et al., 2014).

A sincronização no suprimento de N e de energia no rúmen podem maximizar a utilização do N, a eficiência da síntese proteica microbiana e o fluxo de proteína microbiana para o duodeno, resultando em efeito poupador para a proteína dietética, possibilitando a redução na excreção de N (Herrera-Saldana et al., 1990; Kolver et al., 1998; Casper et al., 1999). Gonzalez et al. (2000), relataram que o excesso de nitrogênio excretado resulta em perda de energia, podendo reduzir o apetite e a produção do animal.

O efeito do crescimento compensatório sobre o metabolismo de N em sido observado em pesquisas com vacas leiteiras (Choi et al., 1997; Ford & Park, 2001). Segundo Alves et al. (2014), quando não há diferença na digestibilidade de N, o consumo é quem influencia o balanço de nitrogênio. Já Valadares et al. (1997), afirmaram que quando a fermentação ultrapassa a capacidade de assimilação do nitrogênio pelos microrganismos ruminais, ocorre acúmulo de amônia e pequena retenção de nitrogênio pelo animal.

Arndt et al. (2015), encontraram consumo de nitrogênio 21% maior, N fecal 30% maior, N Leite 94% maiores para vacas mais eficientes quando compararam grupos divergentes para eficiência de conversão alimentar, já a excreção urinária de N foi semelhante entre os grupos. Os autores ainda reportaram que o N retido tendeu a ser menor para o grupo mais eficiente e o nitrogênio metabolizável foi 79 g/d maior para o

grupo mais eficiente (230 g/dia) em relação ao grupo menos eficiente (151 g/dia). Não encontraram diferenças para o N do esterco (N urinário + fecal).

1.5 TROCAS GASOSAS E PRODUÇÃO DE CALOR (PC)

A mensuração da produção de calor pode ser obtida por métodos físicos (calorimetria direta) ou a partir de medições quantitativas de alguns dos subprodutos químicos do metabolismo (calorimetria indireta). A calorimetria indireta é fundamentada na relação existente entre a quantidade de calor produzido durante a oxidação de componentes alimentares ou corporais, considerando o O₂ consumido, o CO₂ e o CH₄ produzidos e o nitrogênio excretado na urina (Ferreira, 2014) por meio da equação proposta por Brouwer (1965): $PC \text{ Kcal/dia} = (16,18 \text{ O}_2) + (5,02 \text{ CO}_2) - (2,17 \text{ CH}_4) - (5,99 \text{ N})$.

A respirometria aplicada ao estudo metabólico de ruminantes ocorreu desde 1965, com a publicação da equação de Brouwer (1965). No sistema de câmara respirométrica (CR) de circuito aberto, os animais permanecem durante 24 h para medições dos gases (Derno et al., 2009; Paddock, 2010).

Do total de metano emitido no planeta, 58% são de origem antropogênica (Knapp et al., 2014). Steinfeld et al. (2006), apontaram a agricultura como responsável por 18% das emissões antrópicas de GEE. O CH₄ é um produto da fermentação ruminal, processo responsável pela conversão dos componentes dos alimentos (carboidratos e nitrogênio) em metabólitos utilizados pelo animal, como os ácidos graxos voláteis (AGVs), proteína microbiana e as vitaminas do complexo B. O CH₄ e o CO₂ não são aproveitados pelo hospedeiro e são eliminados quase na totalidade via respiração e eructação (Van Soest, 1994).

A mitigação do metano entérico é alvo de pesquisa em todo o mundo (Nkrumah et al. 2014; Knapp et al., 2014; Arndt et al., 2015; Aubry & Yan, 2014; Pereira et al., 2015). Estudos realizados no Canadá, voltados para seleção de animais de maior EA (CAR), evidenciaram menor emissão de metano para os animais mais eficientes (Arthur & Herd, 2008).

Práticas de manejo e a melhoria da EA podem alterar a relação acetato:propionato, diminuindo o H₂ que é substrato para a produção de CH₄ pelas *Archeas*. O melhoramento para eficiência alimentar é estratégico para a redução da intensidade de emissão de CH₄, propiciando menores emissões por unidade de produto (Knapp et al., 2014).

Melhorias no CAR contribuem para a redução da pegada de carbono na produção de leite, já que animais de baixo CAR produzem menos dejetos e apresentam menores exigências nutricionais, demandam menos alimentos que dependem de combustíveis fósseis para serem produzidos (Hegarty et al., 2007). Bell et al. (2011), apontaram que a melhoria da EA é capaz de reduzir em 6,5% as emissões de CO₂-eq.

Dados obtidos por Yan et al. (2010) em metanálise, que contemplaram trabalhos com CAR, evidenciaram que a perda de energia na forma de CH₄ como proporção da EB ingerida ou da energia do leite foi negativamente relacionada aos níveis de produção leiteira. Assim, os autores consideraram a seleção de vacas leiteiras de elevada produção e eficiência de utilização de energia, estratégia eficiente para mitigação de CH₄.

McDonnell et al. (2016), avaliaram novilhas de corte a pasto divergentes para CAR. Estes autores reportaram correlação de 0,42 entre IMS e CH₄/d e observaram que as emissões absolutas de CH₄ g/d e g/kg PV^{0,75} não diferiram entre os grupos divergentes para CAR, já a emissão de CH₄ g/kg IMS e CH₄ % EB foi maior para as novilhas de baixo CAR. Waghorn & Hegarty (2011), não observaram diferenças nas emissões de CH₄ entre vacas leiteiras divergentes para CAR. Já nos estudos de Nkrumah et al. (2006); Hegarty et al. (2007); Jones et al. (2011) e Fitzsimons et al. (2013), os animais de baixo CAR (mais eficientes) apresentaram menor produção de CH₄/d. Uma explicação para a menor emissão foi a redução da IMS associada ao fenótipo de baixo CAR (Kelly et al., 2010ab; Lawrence et al., 2011).

Ardnt et al. (2015), encontraram emissões semelhantes de CH₄ e CO₂ g/d para vacas em lactação de alta e baixa ECA, mas quando expressos em CH₄/IMS g/kg e CO₂/IMS g/kg, as emissões foram menores para vacas do grupo de alta ECA. A porcentagem de perdas de energia na forma de CH₄ em relação à EB foi de 5,23 vs 6,99% para vacas de alta e baixa ECA, respectivamente.

1.6 PERFIL METABÓLICO E HORMONAL

Os parâmetros sanguíneos apresentam relação com o metabolismo proteico, energético e enzimático (no músculo e no fígado) dos animais. O perfil metabólico de bovinos eficientes e ineficientes para CAR tem sido avaliado com o objetivo de caracterizar as diferenças metabólicas desses animais (Richardson & 2004; Kelly et al., 2010; Santana et al., 2014).

Resultados apresentados por Richardson & Herd (2004) indicaram que animais mais eficientes apresentam menores níveis sanguíneos de insulina, ureia e cortisol, possivelmente devido às diferenças na reciclagem dos tecidos e mudanças na composição corporal.

Kelly et al. (2010), analisaram o plasma sanguíneo de novilhas do cruzamento Limousin e Holandês e encontraram correlações significativas para os índices de EA (CAR e ECA) e as concentrações de Ácidos Graxos não Esterificados (AGNE) e o β -hidroxibutirato (BHBA), concluindo que os processos biológicos do animal podem contribuir para a variação da eficiência alimentar.

1.6.1 Ácidos Graxos Não Esterificados

Os AGNE são produtos da mobilização da reserva lipídica e são considerados indicadores para avaliação do déficit energético (Brickner et al., 2007; Ospina et al., 2010a). Uma das primeiras respostas do organismo ao balanço energético negativo (BEN) é a mobilização do tecido adiposo e a capacidade do tecido muscular esquelético de utilizar AGNE para gerar energia para manutenção (Overton & Waldron, 2004).

Os AGNE são usados como fonte de energia pelo fígado e por outros tecidos e sua oxidação celular faz parte dos sinais fisiológicas de saciedade (Van Saun, 2000). Estão relacionados também à distúrbios adversos sobre a reprodução dos bovinos, durante o período de BEN, afetando negativamente a proliferação de células da teca, induzindo efeitos inibitórios sobre células da granulosa de bovinos e à redução da produção de progesterona *in vitro* (Vanholder et al., 2006).

Segundo Drackley et al. (1992), as concentrações plasmáticas de AGNE e BHBA aumentam durante a cetonemia. Isto ocorre quando a demanda energética do animal é maior do que a ingestão de nutrientes, havendo maior taxa de lipólise comparada a de lipogênese, resultando em maior hidrólise de triglicerídeos e liberação de AGNE e glicerol. Os AGNE são utilizados como fonte energética nos tecidos, podendo ainda serem redirecionados para o fígado, onde serão completa ou parcialmente oxidados, produzindo CO₂ e acetil-CoA, respectivamente. Quando estes são parcialmente oxidados, o acetilCoA originado pode ser convertido à corpos cetônicos, BHBA, acetoacetato e acetona (Lehninger et al., 1995).

Macdonald et al. (2016), ao avaliarem vacas em lactação divergentes para CAR, não encontraram diferenças para a concentração plasmática de AGNE (0,35 mEq /l).

Kelly et al. (2010), examinaram a relação entre EA e as variáveis metabólicas do sangue em novilhas de corte e encontraram correlações entre os AGNE e CAR ($r = -0,21$) e ECA ($r = -0,32$).

1.6.2 β -hidroxibutirato

O β -hidroxibutirato é um importante indicador de cetose subclínica, patologia derivada da mobilização de gordura como resposta ao BEN (Enjalbert et al., 2001). O BHBA é um corpo cetônico fisiologicamente produzido no rúmen. No entanto, sob condições de balanço energético positivo, seus valores no soro são baixos. O BHBA predomina na circulação e apresenta correlação com as concentrações plasmáticas de acetoacetato, mas este é instável, enquanto o BHBA é relativamente estável (Duffield et al., 2009).

Os corpos cetônicos são principalmente excretados no leite e na urina (Baird, 1982; Kaneko et al., 1997; Andrews et al., 2004; Smith, 2008). As taxas de cetose subclínica são influenciadas pelos valores de BHBA, sendo seus valores na urina e no leite inferiores às do sangue. (Radostits et al., 2000; Enjalbert et al., 2001; Nielsen et al., 2005).

Na circulação sistêmica, os corpos cetônicos servem como uma fonte adicional de energia para o músculo, poupando a glicose para promover maiores concentrações de glicose sanguínea. Além disso, servem também como um *feedback* regulador da liberação de AGNE pelo tecido adiposo (Kaneko et al., 1997; Herdt, 2000; Hutjens, 2011; Kessel et al., 2008).

O uso de BHBA como indicador único do balanço energético pode gerar confusão, já que a síntese normal de corpos cetônicos depende do tipo de alimento ingerido pelo animal (Van Saun, 2000; Oetzel, 2001). Radostits et al. (2000) e Andrews et al. (2004), indicam que a quantificação de glicose plasmática associada ao BHBA é uma melhor alternativa para predição do balanço energético em bovinos.

Fernandes (2014), encontrou maiores valores de BHBA para o grupo mais eficiente para CAR e associou essa diferença ao equilíbrio das atividades lipolítica e cetogênica em animais de baixa eficiência.

Richardson & Herd (2004), relataram correlação positiva ($r = 0,55$) entre CAR e BHBA. Em consonância com esses dados, Kelly et al. (2010) encontraram correlação

entre BHBA e CAR ($r = 0,25$) e ECA ($r = 0,37$) ao avaliarem novilhas de corte divergentes para EA.

1.6.3 Glicose

O principal regulador do metabolismo de energia nos mamíferos é a glicose sanguínea (Lehninger et al., 1995). Os ruminantes apresentam uma peculiaridade, pois apenas 5% da glicose ingerida é absorvida diretamente (Herdt, 1988). A maior parte da glicose oriunda da dieta sofre fermentação ruminal, sendo convertida à ácidos graxos voláteis e, com isto, faz-se necessário um constante estado de gliconeogênese para suprir a demanda de glicose (Herdt, 1988).

Quando há redução de CMS pouco propionato é produzido no rúmen, sendo este o principal precursor de glicose em ruminantes (Fernandes et al., 2012), reduzindo assim a glicose circulante. Com a condição de hipoglicemia, o organismo reduz a produção de insulina e assim o organismo passa a entender que falta energia e que há necessidade de mobilizar reservas corporais.

De acordo com Bell et al. (2011), a cada kg de leite produzido são necessários 72g de glicose que, em sua maioria, é convertida em lactose. Entretanto, no início da lactação, a fermentação dos AGVs só podem atender cerca de 85% das necessidades de glicose, causando um déficit diário de 500g de glicose.

No estudo de Fernandes (2014), evidenciou-se que a glicose sérica foi inferior para o grupo menos eficiente para CAR, o que foi justificado por uma possível maior eficiência do metabolismo mitocondrial nos animais mais eficientes. O CAR apresentou correlação baixa com as concentrações séricas de glicose.

Nascimento et al. (2015), não encontraram diferenças significativas nas concentrações sanguíneas de glicose ($P=0,819$) entre grupos divergentes para CAR. Já a relação glicose:insulina ($P < 0,001$) foi menor para os animais de baixo CAR.

1.6.4 Insulina

A insulina é um importante hormônio metabólico que influencia a regulação da concentração de glicose circulante, estando diretamente envolvida com o crescimento celular e desenvolvimento dos animais (Fouladi-Nashta & Campbell, 2006). Atua

também no hipotálamo, influenciando no mecanismo da fome saciedade em órgãos e tecidos corporais como: fígado, músculos, glândulas mamárias e ovário (Cunningham, 2004; Volp et al., 2008). Sua liberação é pelo pâncreas durante a absorção de nutrientes da dieta sendo responsável pelas reações anabólicas do organismo.

No fígado, a insulina é responsável pela produção do fator de crescimento semelhante à insulina (IGF-1), modelando a concentração de glicose sanguínea e o metabolismo de aminoácidos e proteínas, com alteração nos processos de síntese e degradação, influenciando o crescimento, composição de carcaça e eficiência alimentar (Lobley, 1992).

Nascimento et al. (2015), ao avaliarem bovinos Nelore em crescimento, encontraram concentrações plasmáticas mais altas de insulina (4,45 vs. 3,70 μ IU/mL) para animais eficientes para CAR. Segundo esses autores, a insulina é capaz de agir no hipotálamo por meio dos glicorreceptores, provocando sinais de saciedade à homeostase energética. Assim, animais mais eficientes para CAR podem apresentar maior sensação de saciedade devido à maior concentração sanguínea de insulina (Nascimento et al., 2015).

Em estudos de Kelly et al. (2010), não foram encontradas correlações entre insulina e ingestão de alimento, quando foram avaliadas novilhas divergentes para CAR. Entretanto, Richardson & Herd (2004), encontraram maiores valores de insulina no grupo de animais menos eficientes.

1.7 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

A termografia infravermelha (TIV), tornou-se um exame complementar de diagnóstico, monitoramento e prognóstico na medicina veterinária. Vem ganhando destaque por ser uma técnica moderna, não invasiva e segura, para aferir alterações na transferência de calor e fluxo de sangue, permitindo a detecção de pequenas mudanças na temperatura do corpo (Hurnik et al., 1985; Kortba et al., 2007; Stelletta et al., 2012; Nääs et al., 2014; Roberto et al., 2014; Rekant et al., 2016).

A TIV é alternativa aos métodos invasivos, que são comumente usados para avaliação fisiológica e de parâmetros metabólicos, que podem ser alterados por respostas ansiogênicas resultantes do procedimento (Soerensen & Pedersen, 2015).

A avaliação da temperatura superficial do animal pode também ser utilizada como indicador para estimar o estado fisiológico dos animais em situações de estresse, para

avaliação complementar da fertilidade, do bem-estar e da saúde animal (McManus et al., 2016). A TIV baseia-se no perfil térmico de uma superfície e no fato de que todos os corpos geram calor e emitem radiação infravermelha, que pode ser medida e correlacionada com a temperatura corporal (Knizkova et al., 2007).

Na medicina bovina, a TIV é utilizada principalmente para diagnósticos precoces, mas também para a avaliação do bem-estar animal e como método indireto para identificação de animais de maior EA com base em diferenças na intensidade de dissipação de calor (Montanholi et al., 2008; Montanholi et al., 2010).

Temperaturas das porções distais da garupa e cabeça foram os locais mais adequados do corpo para avaliar indiretamente a eficiência alimentar em bovinos usando termografia, descrito por Montanholi et al. (2009). Segundo os autores, as extremidades corporais são as regiões mais indicadas para avaliação, pois nessas acontecem as maiores trocas de temperatura com o meio.

A técnica da avaliação da TIV no globo ocular, ganacha, focinho e costelas de bovinos de corte, classificadas como baixo, médio e alto CAR, foram avaliados por Montanholi et al. (2010). Os animais de baixo CAR apresentaram temperaturas da ganacha e focinho mais baixas que animais menos eficientes ($28,1^{\circ}\text{C}$ vs $29,2^{\circ}\text{C}$ e $30,0^{\circ}\text{C}$ vs $31,2^{\circ}\text{C}$), indicando melhor eficiência energética nos animais de baixo CAR.

Avaliando a TIV em bovinos de corte divergentes para CAR, Colyn (2013) evidenciou que as novilhas de baixo CAR obtiveram temperaturas médias de ganacha ($19,88^{\circ}\text{C}$) inferiores ao do grupo de alto CAR ($21,29^{\circ}\text{C}$; $P < 0,0001$). As médias das temperaturas do globo ocular tenderam a ser maiores no grupo de alto CAR ($P = 0,07$).

II OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a relação entre a classificação fenotípica divergente para o consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e a eficiência de conversão alimentar (ECA) com o consumo, a digestibilidade, partição energética, emissões de CH_4 entérico, balanço de nitrogênio, metabólitos sanguíneos e termografia infravermelha em novilhas Girolando em condições tropicais.

2.2 Objetivos Específicos

Avaliar o consumo, a digestibilidade e o balanço de nitrogênio em novilhas Girolando com fenótipos divergentes para eficiência alimentar;

Avaliar a influência de fenótipos divergentes para EA sobre as trocas respiratórias (consumo de O₂ e produção de CO₂ e CH₄) e o gasto energético (produção de calor) de novilhas Girolando com fenótipos divergentes para eficiência alimentar;

Avaliar o perfil metabólico sanguíneo e hormonal de novilhas Girolando com fenótipos divergentes para eficiência alimentar;

Avaliar índices de termografia em diferentes regiões corporais de novilhas Girolando com fenótipos divergentes para eficiência alimentar.

III MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado entre os meses de agosto e novembro de 2015, no Complexo Multiusuário de Bioeficiência e Sustentabilidade da Pecuária da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em Coronel Pacheco-MG. Todos os procedimentos com animais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Embrapa Gado de Leite (Protocolo CEUA – EGL n° 05/2015).

3.1 Animais, Instalações e Tratamentos

Previamente ao início do experimento, todos os animais receberam doramectina (Treo ACE, Zoetis, Guarulhos, SP) para o controle de endo e ectoparasitas.

Para a seleção dos animais divergentes para EA foram utilizados os dados do ensaio de eficiência alimentar de Campos (2017, dados não publicados), que teve duração de 113 dias e envolveu a avaliação de IMS de trinta e seis novilhas com 152 dias \pm 30 dias e PV inicial médio 155 \pm 19 kg, que receberam dieta completa, *ad libitum* composta por 75% de silagem de milho e 25% de concentrado (Tabela 1). As dietas foram formuladas de acordo com as recomendações do NRC (2001) para ganhos 900g/dia.

O ambiente experimental foi caracterizado por mensuração da temperatura máxima e mínima diária e a umidade relativa do ar máxima e mínima. Foi utilizado um ponto

referência para coleta dos dados climáticos, o qual um termohigrômetro digital foi posicionado em meio ao galpão *Tie stall* para simular as condições diárias.

O CAR e GPR foram calculados com base na metodologia proposta por Koch et al. (1963) como a diferença entre o consumo ou GMD observado e o predito ($CAR = IMS_{obs} - IMS_{esp}$ ou $GPR = GMD_{obs} - GMD_{esp}$), respectivamente. O consumo ou GMD preditos foram obtidos por regressão linear múltipla com base no consumo ou GMD observado em função do peso vivo médio metabólico ($PVMM = PV^{0,75}$) e o GMD ou IMS, em que o intercepto β_0 e os coeficientes de regressão β_1 e β_2 são médios para o grupo e resíduo (ϵ), o erro de cada observação:

$$IMS \text{ ou } GMD_{esp} = \beta_0 + \beta_1 \times (PVMM) + \beta_2 \times (GPD \text{ ou } IMS) + \epsilon$$

A ECA foi calculada pela razão entre o GMD e a IMS:

$$ECA = GMD/IMS$$

Para o cálculos da ECA foram utilizados os dados de consumo dos $72 \pm 10,9$ dias e os respectivos ganhos de peso obtido por regressão dos pesos vivos registrados semanalmente ao longo dos 113 dias do ensaio de eficiência alimentar, adotando-se o modelo:

$$Y_j = \beta_0 + \beta_1(X_j) + e_j$$

Em que:

Y_j é a variável dependente (peso) do j-ésimo animal,

β_0 é o intercepto,

β_1 é o coeficiente de regressão (GMD)

X é a variável independente (dias)

e_j é o erro.

Os animais foram divididos nos grupos: alta eficiência ($n = 12$, englobando os animais com $CAR < - 0,5$ do desvio-padrão abaixo da média e GPR e $ECA > 0,5$ do desvio-padrão acima da média) e grupo de baixa eficiência ($n = 12$ englobando animais com $CAR > 0,5$ desvio padrão acima da média e GPR e $ECA < - 0,5$ do desvio-padrão abaixo da média). Uma novilha foi removida do experimento devido à uma fratura de membro posterior direito.

Independente do ranqueamento, todas as novilhas foram distribuídas de acordo com a idade e o peso em lotes (três lotes com nove e um com oito animais) para a realização dos ensaios experimentais. Cada lote, de forma sequencial, foi alojado em galpão “*tie*

stall” com baias de 2,5 m de comprimento x 1,2 m de largura com camas de borracha (Kraiburg /modelo WINGFLEX), bebedouros e cochos individuais.

O ensaio teve duração de 25 dias (10 dias de adaptação e 15 dias para o ensaio de digestibilidade, respirometria calorimétrica, metabolismo e termografia infravermelha). Durante a adaptação e períodos de coleta dos dados experimentais, os animais receberam a mesma dieta do ensaio de EA (75% de silagem de milho e 25% de concentrado) utilizado para estabelecer o CAR, GPR e ECA (Tabela 1). A dieta foi ajustada diariamente para resultar em aproximadamente 10% de sobras. O concentrado foi composto de farelo de soja (96%) e mistura mineral (4%). Os ingredientes da dieta foram misturados e distribuídos usando um vagão misturador e ofertada uma vez ao dia às 8h30. Durante todos os períodos experimentais, os animais tiveram acesso irrestrito a água potável.

Tabela 1. Composição química do concentrado, silagem de milho e dieta total

| Componentes | Concentrado | Silagem de milho | Dieta Total |
|------------------------|-------------|------------------|-------------|
| MS, g/kg | 918,6 | 277,9 | 438,1 |
| PB, g/kg ¹ | 459,5 | 80,2 | 175,0 |
| EE, g/kg ¹ | 21,2 | 25,1 | 24,1 |
| FDN, g/kg ¹ | 147,5 | 513,2 | 421,7 |
| FDA, g/kg ¹ | 76,3 | 291,6 | 237,8 |
| EB, MJ/kg ¹ | 18,4 | 16,7 | 17,1 |

¹matéria seca (MS); PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; FDN= fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido; EB = energia bruta.

3.2 Determinação do Consumo no Ensaio da Digestibilidade

Os consumos de MS, matéria orgânica (MO) e fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) foram calculados a partir do teor dos nutrientes e frações fibrosas no alimento ofertado descontando os valores das sobras. Para determinação do consumo da MS (CMS) e demais nutrientes foi utilizada a equação: $CMS\% = (gMS\ ingerida \times \% \text{ nutrientes}) - (gMS\ sobra \times \% \text{ nutrientes}) * 100$.

O consumo de energia bruta (CEB) e a excreção de energia fecal diária foram obtidos pela multiplicação da ingestão de MS e excreção fecal de MS pelas suas respectivas concentrações de EB. O consumo de energia metabolizável (CEM) foi determinado subtraindo-se do CEB as perdas energéticas das fezes, urina e CH₄.

3.3 Digestibilidade Aparente e Balanço de Nitrogênio

O ensaio de digestibilidade teve duração de 15 dias, sendo 10 dias de adaptação ao manejo experimental e 5 dias de coleta total de fezes. As amostras dos alimentos oferecidos, sobras e fezes foram coletadas durante os 5 dias consecutivos e congeladas em câmara fria a -20°C para posteriores análises. Em cada período foram coletados: amostras diárias dos alimentos oferecidos, amostras de sobras individual dos 5 dias e as amostras de fezes, que formaram uma amostra composta por animal. Os valores de digestibilidade aparente (g/kg) foram determinados em função do desaparecimento, considerando equação adaptada de Berchielli et al. (2011): Digestibilidade nutriente = $((g \text{ MS ingerida} \times \% \text{ nutrientes}) - (g \text{ MS fezes} \times \% \text{ nutrientes})) / (g \text{ MS ingerida} \times \% \text{ nutriente}) \times 100$.

Durante o ensaio de digestibilidade, no primeiro e segundo dia de coleta total de fezes, coletou-se a urina de todos os animais durante um período de 24 horas. Para isso, foi utilizado sonda tipo Folley de duas vias, nº 20, com balão de 30-50 ml e com auxílio de mandril, a mesma foi guiada via uretra até a bexiga urinária (Valadares et al., 1997). Na extremidade da sonda foi adaptada mangueira de polietileno, pela qual a urina era conduzida até galões plásticos com tampa, imerso em gelo dentro de caixa de isopor. Ao final das 24 horas, foi aferido o volume e peso da urina, sendo posteriormente homogeneizada, filtrada em gaze, amostrada (50 mL) e congelada em câmara fria para posterior quantificação de energia bruta (EB) e do nitrogênio (N).

O balanço de compostos nitrogenados foi obtido pela diferença entre o total de nitrogênio ingerido e o total excretado nas fezes e na urina. Para o cálculo do balanço de nitrogênio, ou nitrogênio retido, foram utilizados os valores de nitrogênio (N) consumido, nitrogênio fecal e nitrogênio urinário, conforme a equação: N retido = N ingerido - (N fecal + N urinário). O nitrogênio ingerido foi obtido pela diferença entre a quantidade de nitrogênio na dieta oferecida e a quantidade de nitrogênio nas sobras coletadas durante o ensaio de digestibilidade.

3.4 Análises Químico-Bromatológicas

As amostras da dieta fornecida e as sobras foram pesadas e amostradas (300 a 500g) e posteriormente congeladas em câmara fria à temperatura de -20°C. Posteriormente, foram agrupadas em amostras compostas semanais proporcionais aos pesos e com base no teor de matéria pré-seca obtida em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas. As amostras foram processadas em moinho estacionário “Tomaz-Willey”, utilizando-se peneiras com crivo de 1mm e armazenadas em frascos de plástico e encaminhadas para o Laboratório de Análise de Alimentos da Embrapa Gado de Leite.

Determinaram-se os teores de MS em estufa a 105°C (AOAC, 2005; método 934,15); cinzas (AOAC, 2005; método 930,15), proteína bruta (PB) pelo método Kjeldahl (AOAC, 2005; método 990,03); energia bruta (EB) por combustão em bomba calorimétrica adiabática (marca IKA[®] WERKE /modelo C-5000 ADI, Control), fibra detergente neutro (FDN) pelo método sequencial de Van Soest et al. (1991), adaptado para as condições do aparelho ANKOM²²⁰, Fiber Analyzer (Ankom Technology, Fairport, NY), com adição de 500 µL/g MS de amilase, sem uso de sulfito de sódio e corrigido para cinzas residuais (Mertens, 2002); extrato etéreo (EE) (AOAC, 2005; método 920.39). Para os cálculos de CNF foi utilizada a equação: $CNF = 100 - (FDN\% + PB\% + EE\% + CINZAS\%)$ sugerida por Mertens (1997). A determinação do nitrogênio total nas fezes e na urina foi realizada pelo método de Kjeldahl (AOAC, 2005).

3.5 Partição Energética, Consumo de O₂, Produção de CO₂ e CH₄

Após o ensaio de digestibilidade iniciaram-se os procedimentos de avaliação bioenergética em quatro câmaras respirométricas (CR) de fluxo aberto. Foram utilizados os equipamentos e os procedimentos de calibração e cálculos descritos por Machado et al. (2016). Condições de termo neutralidade foram mantidas no interior das câmaras durante as mensurações (22±3°C e 65±5% de umidade relativa do ar) e os animais foram pesados antes da entrada nas câmaras respirométricas. Após o fornecimento da dieta às 9:00 da manhã, iniciava a leitura das CR, o consumo era mensurado com a diferença do fornecido e as sobras no dia seguinte.

As trocas gasosas foram mensuradas durante um período de 21 a 23 horas, realizando-se extrapolação para um período de 24 horas. Os volumes (L/dia) de O₂ consumido, CO₂

e CH₄ produzidos e o nitrogênio urinário excretado (N_u, g/dia) foram utilizados para estimar a PC diária, conforme equação de Brouwer (1965):

$$PC \text{ (Kcal/dia)} = (3,866 \times VO_2) + (1,200 \times VCO_2) - (0,518 \times VCH_4) - (1,431 \times N_u).$$

O balanço energético foi determinado subtraindo-se da EB consumida as perdas energéticas oriundas das fezes, urina, CH₄ e da PC Kcal/dia. Considerou-se 9,45 kcal/L como valor energético do CH₄ (Brouwer, 1965).

3.6 Parâmetros Sanguíneos

Amostras de sangue foram coletadas em sequência à pesagem dos animais após o ensaio de digestibilidade. Duas amostras por animal foram coletadas por punção da veia coccígea em tubos Vacutainer® de 5 mL após assepsia local. O primeiro tubo contendo EDTA K3 foi utilizado para as análises de β-hidroxiacetato, AGNE e insulina e o segundo contendo fluoreto de sódio e EDTA foi utilizado para as análises de glicose. As amostras foram imediatamente homogeneizadas, armazenadas em gelo e centrifugadas a 800,6 × g durante 10 min. O plasma foi então dividido em dois tubos *Eppendorf* de 1,5 mL por animal e armazenados a -20 °C até a análise.

A concentração plasmática de AGNE foi obtida por método colorimétrico (Kit Randox NEFA, Randox Laboratories Ltd. USA). As concentrações plasmáticas de β-hidroxiacetato foram determinadas pelo método enzimático (Kit Randox Ranbut, Randox Laboratories Ltd, Crumlin, Reino Unido, Kit Glicose Liquiform, Babtest Diagnostica S.A., Minas Gerais, Brasil). A glicose plasmática foi avaliada em espectrofotômetro de microplaca EON (Biotek Instruments Inc., Vermont, EUA) utilizando método enzimático (Kovalent do Brasil Ltda., Rio de Janeiro / RJ). O CV intra e entre ensaios foi de ≤3%. A insulina foi analisada utilizando kit ELISA bovino (Merckodia, Uppsala, Suécia). O CV intra e entre ensaios foi ≤ 7,0 e 8,2%, respectivamente.

3.7 Termografia Infravermelha

No dia anterior ao início das avaliações nas câmeras respirométricas foi realizada a avaliação termográfica por TIV com o dispositivo portátil FLIR T420 (FLIR Systems, Inc., Wilsonville, OR, EUA) nas regiões anatômicas: olho, focinho, membro anterior direito e vulva (Figura 1), enquanto o animal estava contido com cabresto e com auxílio

de uma pessoa que ajustava o posicionamento do animal sem contato com as regiões avaliadas.

Padronizou-se a distância do termógrafo à região anatômica em 0,5m, 20°C de temperatura de reflectância e adotou-se 0,98 como valor de emissividade, conforme recomendação do fabricante para tecidos biológicos e de acordo com os valores utilizados por Montanholi et al. (2008); Montanholi et al. (2009); Weschenfelder et al. (2013) e MacManus et al. (2016). Os arquivos gerados foram processados e interpretados com o software FLIR Tools 5.6 (FLIR Systems, Wilsonville, OR, USA). Foi utilizada a paleta *iron* e a ferramenta “medição de caixa” padronizada para 75 x 75mm para olho, focinho e vulva, e 30 x 45mm para membro anterior direito, obtendo-se os valores de temperatura máxima, mínima e média. A temperatura máxima foi a medida utilizada nas análises por melhor representar a temperatura corporal do animal e por sofrer menor variação devido à contaminação da superfície por sugidades como fezes, urina e pelo contato com materiais frios.

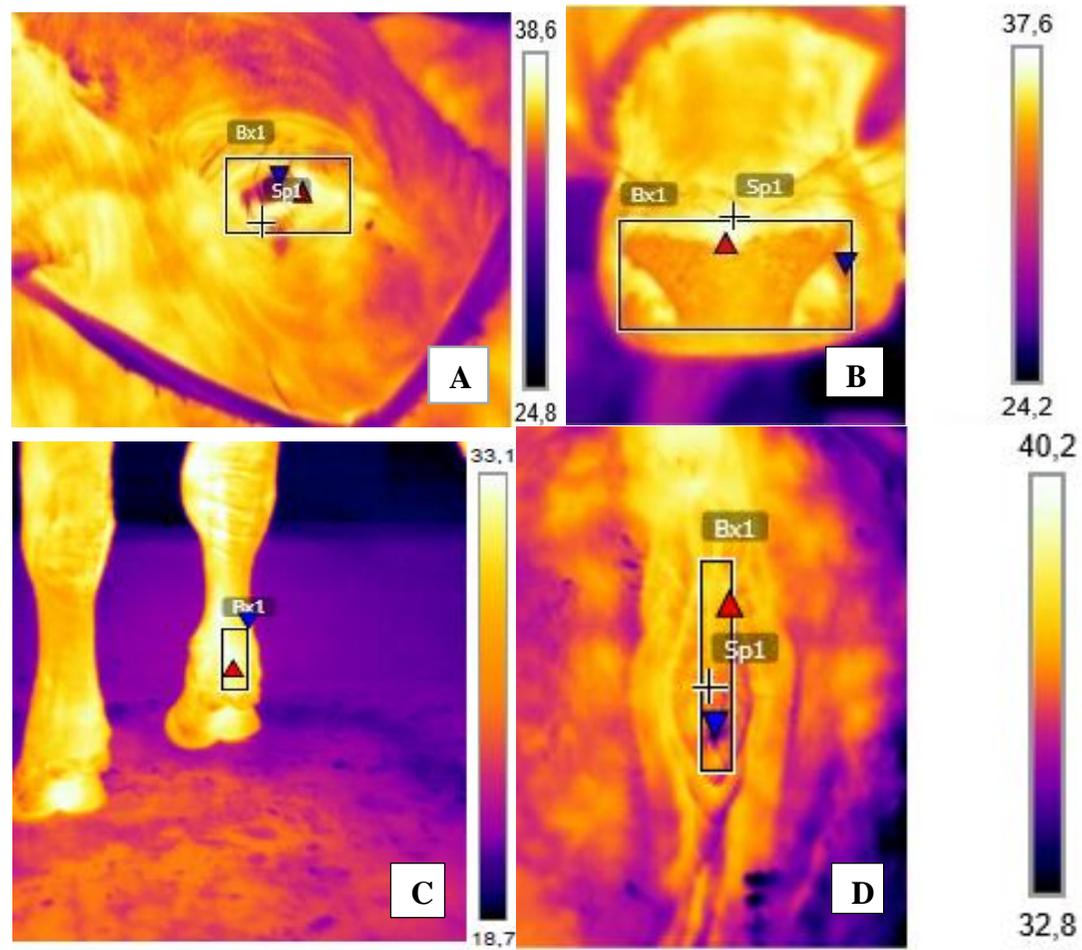


Figura 1. Imagens Termográficas de novilhas Girolando com fenótipos divergentes para eficiência alimentar. A = olho, B = focinho, C = membro anterior direito e D = vulva

3.8 Procedimentos Estatísticos

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software* SAS (versão 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC). Os dados referentes ao desempenho, digestibilidade aparente, balanço de nitrogênio, partição de energia, consumo de oxigênio e as emissões de dióxido de carbono e metano, parâmetros sanguíneos e termografia infravermelha foram analisados seguidos por ANOVA e delineamento inteiramente casualizado (DIC) utilizando o procedimento MIXED, considerando o animal como efeito aleatório e os grupos divergentes para CAR, GPR e ECA como efeitos fixos, de acordo com o modelo:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + e_{ij}, \text{ em que:}$$

Y_{ij} = observação do grupo i (nível de eficiência);

μ = efeito médio geral;

G_i = efeito do grupo i (nível de eficiência) ($i = 1$ e 2 níveis de eficiência);

e_{ij} = erro aleatório da observação do grupo (eficiência) i .

Os dados relativos às trocas respiratórias, produção de CH_4 e de calor foram analisados utilizando-se modelo misto como considerações de medidas repetidas, considerando o animal como efeito aleatório e o grupo, dias de avaliação e sua interação como efeitos fixos.

Médias, desvio padrão (DP), normalidade e homogeneidade de variância foram avaliados para todas as variáveis utilizando o procedimento UNIVARIATE. As variáveis consideradas fora da distribuição de probabilidade normal foram transformadas para se adequarem à normalidade. A concentração de BHBA no plasma e EM/ED foram transformadas para função raiz, enquanto a energia digestível, energia metabolizável, produção de calor por peso metabólico, balanço energético e a produção de CH_4/CMO g/kg foram transformadas para função logarítmica. As variáveis peso e idade dos animais no início das avaliações foram consideradas como covariáveis. A comparação entre as médias dos grupos de alta ($n=12$) e baixa eficiência ($n=12$) para os parâmetros avaliados (produtivos, nutricionais, fisiológicos e metabólicos e TIV), nos diferentes índices de eficiência alimentar foram comparadas pelo teste de Fisher, à 5% de probabilidade. Foi realizado estudo de correlação de Pearson para cada índice de EA (CAR, GPR e ECA) e as variáveis respostas pelo procedimento CORR do SAS,

considerando 5% como nível de significância e de correlação de Spearman para as variáveis que precisaram ser transformadas.

IV RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Eficiência Alimentar e Características de Desempenho

Para a seleção dos animais divergentes para EA foram utilizados os dados do ensaio assim como o ranqueamento das novilhas de alta e baixa eficiência para CAR, GPR e ECA descritos na (Tabela 2) de Campos (2017). Novilhas de alta e baixa eficiência apresentaram CAR de -0,27 e 0,30 kg de MS/dia, respectivamente. O grupo de alta eficiência para CAR consumiu 10,3% (0,53 kg MS/dia) a menos do que o grupo de baixa eficiência. O modelo de regressão para cálculo do CAR explicou 83% da variação na IMS, resultado próximo aos 77% encontrado por Kelly et al. (2010a) e superior aos 66% reportado nos trabalhos de Arthur et al. (2001a,b); Basarab et al. (2003); Nkrumah et al. (2007a) e Kelly et al. (2010b). Não foi observada diferença para peso vivo inicial e final, ganho de peso, peso vivo e peso vivo metabólico no meio do teste entre os grupos divergentes para CAR (Tabela 2). Para animais em crescimento, o CAR é um índice de EA independente de parâmetros produtivos, do tamanho e do peso dos animais, fato comprovado nos trabalhos de Koch et al. (1963); Arthur et al. (2001a,b); Basarab et al. (2003); Ahola et al. (2011); Lucila Sobrinho et al. (2011); Santana et al. (2012); Gomes et al. (2012); Berry & Crowley (2013); Welch et al. (2012); Zorzi et al. (2013) e Chaves et al. (2013), que envolveram bovinos de corte de diferentes composições genéticas.

Estudos envolvendo avaliação de CAR para animais de aptidão leiteira são escassos. McDonald et al. (2014 e 2016), avaliaram novilhas da raça Holandês na Nova Zelândia e Austrália e observaram diferenças de 20% no CAR durante o crescimento e estes grupos permaneceram divergentes para CAR durante a lactação. A maior eficiência alimentar para CAR não afetou negativamente as variáveis: produção, ECC, PV e reprodução das vacas criadas em sistema intensivo de pastoreio (McDonald et al., 2016).

Em estudos avaliando 31 novilhas mestiças de corte, observou-se que as de alto CAR consumiram 4,56% a mais de MS/kg/dia do que novilhas baixo CAR ($P < 0,05$), segundo Reis et al. (2015). Outros estudos confirmam que o CAR foi positivamente correlacionado com o consumo de matéria seca (Castro Bulle et al., 2007; Ahola et al., 2011; Nascimento,

2011; Santana et al., 2012; Lucila Sobrinho et al., 2011; Gomes et al., 2012; Welch et al., 2012; Zorzi et al., 2013). As correlações fenotípicas e genotípicas entre CAR e CMS variam de 0,13 a 0,81 e de 0,24 a 0,85, existindo considerável variação entre os animais (Zamani et al., 2008; Rolfe et al., 2010; Ahola et al., 2011; Gomes et al., 2012; Welch et al., 2012; Zorzi et al., 2013). As divergências entres os relatos de literatura podem estar relacionadas ao número de animais utilizados nos ensaios para ranquear de acordo com o CAR.

Apesar da importância do Girolando para produção de leite em condições tropicais, este é o primeiro trabalho que evidencia não existir associação do CAR com parâmetros produtivos e peso vivo dos animais em fase de crescimento. A variação fenotípica do CAR para bovinos de corte zebuínos avaliados em trabalhos brasileiros é semelhante ou superior aos dos estudos com taurinos, variando de 0,41 a 1,05 kg de MS/dia (Almeida, 2005; Bonin et al., 2008; Paulino et al., 2005; Leme & Gomes, 2007; Santana et al., 2012).

Novilhas de alta e baixa eficiência apresentaram GPR de 0,95 à -0,09 kg/dia, respectivamente, na (Tabela 2) correspondendo diferença de 1,04 kg/dia entre os grupos. Não houve efeito significativo para as variáveis: idade inicial e peso corporal médio inicial. Apesar dos grupos divergentes para GPR apresentarem ingestão de matéria seca semelhante, o grupo de alta eficiência ganhou 20% mais peso por dia. O GMD foi de 0,95 kg/dia para o grupo dos animais eficientes em relação a 0,76 kg/dia para o grupo menos eficiente. O peso vivo e peso metabólico no meio da prova e peso vivo final foram maiores ($P \leq 0,05$) para as novilhas de alta eficiência.

Crowley (2010), avaliando touros das raças Aberdeen, Angus, Charolês, Hereford, Limousin e Simmental, observaram que o grupo mais eficiente para GPR apresentou um CMS maior ($P=0,01$) que os grupos médios e baixos (10,8 vs 10,7, 10,6 kg/d, respectivamente) juntamente com maior GMD (1,89 vs 1,66 e 1,41 kg/d, respectivamente).

A diferença de ECA apresentada pelo grupo eficiente (0,21 kg GMD/kg IMS) e de baixa eficiência (0,15 kg GMD/kg IMS) foi significativa ($P<0,0001$) na (Tabela 2). Fernandes (2014), observou em novilhos de corte que os animais mais eficientes para ECA consumiram, em média, 1,83 kg de MS/kg de ganho a menos que os ineficientes, representando aumento de 37 g de ganho/kg de MS ingerido. Não houve diferença no CMS entre os grupos divergentes para ECA (tabela 2), mas o grupo de alta eficiência apresentou um GPD de (0,89 kg/dia) em relação ao grupo menos eficiente (0,82 kg/dia)

e foi caracterizado pela menor idade no início do teste, pelo menor peso (PV e $PV^{0,75}$) no meio do teste e menores pesos no início e final do experimento. Apesar da contemporaneidade do grupo, a ECA parece apresentar relação com o estado fisiológico do animal e a diferença de 44 dias de idade entre os dois grupos parece ter sido suficiente para influenciar o desempenho dos animais.

Para os parâmetros de eficiência GPR e ECA, as variáveis ganho médio diário, idade e o peso dos animais parecem ser os direcionadores para alta eficiência. A variação de idade das 36 novilhas avaliadas foi no máximo de 80 dias e pode ter interferido na taxa de ganho e na composição química dos tecidos depositados (gordura e proteína), já que, quanto maior a taxa de ganho, maior a eficiência de conversão em função da diluição das exigências de manutenção, que são relativamente constantes (Lanna et al., 1996). O desenvolvimento do animal do nascimento à idade adulta segue padrão sigmóide, que tem uma aceleração até a puberdade e, posteriormente uma inibição regulada pelo sistema hormonal (Oliveira et al., 2013). Já para avaliação do CAR, o crescimento e o tamanho do corpo são fatores independentes.

Crowley (2010), afirmou que o uso de GPR como critério de seleção tem efeito desejado, pois tem correlação com outras medidas de EA, sendo independente do CMS e contempla o PV como indicador dos critérios de seleção. No presente trabalho, os animais de alta eficiência para GPR apresentaram maior peso final (16,2 kg a mais que o grupo de baixa eficiência). Assim, a adoção desse índice pode ter efeito positivo na idade à puberdade e idade ao parto, antecipando o início da vida produtiva em sistemas de produção de leite.

Tabela 2. Eficiências pré-experimentais*, médias, consumo da dieta total e peso, para alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e eficiência de conversão alimentar (ECA) em novilhas Girolando

| Tratamentos (unidade) | Grupos CAR | | | | Grupos GPR | | | | Grupos ECA | | | |
|---|------------|------------|------|---------|------------|------------|------|---------|------------|------------|------|---------|
| | Alta | Baixa | EPM | P-valor | Alta | Baixa | EPM | P-valor | Alta | Baixa | EPM | P-valor |
| | Eficiência | Eficiência | | | Eficiência | Eficiência | | | Eficiência | Eficiência | | |
| CAR (kg/dia) | -0,27 | 0,30 | 0,07 | 0,001 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| GPR (kg/dia) | - | - | - | - | 0,95 | -0,09 | 0,02 | <0,0001 | - | - | - | - |
| ECA (kg GMD/Kg IMS) | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,21 | 0,15 | 0,01 | <0,0001 |
| CMS (kg MS/dia) | 4,61 | 5,14 | 0,12 | <0,0001 | 4,76 | 4,69 | 0,13 | 0,205 | 4,35 | 5,29 | 0,14 | 0,494 |
| GMD (kg/dia) | 0,86 | 0,87 | 0,02 | 0,576 | 0,95 | 0,76 | 0,02 | <0,0001 | 0,89 | 0,82 | 0,02 | 0,0002 |
| PV metade do teste (kg) | 201,9 | 200,5 | 4,36 | 0,721 | 199,5 | 193,9 | 4,84 | <0,0001 | 181,8 | 212,5 | 5,16 | 0,0011 |
| PV ^{0,75} metade do teste (kg) | 53,5 | 53,2 | 0,87 | 0,713 | 53,0 | 51,9 | 0,98 | <0,0001 | 49,5 | 55,6 | 1,04 | 0,0011 |
| Idade inicial (dias) | 151,8 | 153,3 | 6,65 | 0,674 | 137,6 | 162,8 | 6,53 | 0,021 | 123,7 | 168,1 | 6,33 | <0,0001 |
| Peso corporal médio Inicial (kg) | 156,3 | 154,0 | 3,84 | 0,622 | 149,4 | 153,3 | 4,28 | 0,164 | 135,1 | 168,8 | 4,75 | <0,0001 |
| Peso corporal médio Final (kg) | 250,2 | 252,1 | 4,98 | 0,320 | 253,8 | 237,5 | 5,53 | <0,0001 | 233,5 | 259,6 | 5,50 | 0,0005 |

*Para a seleção dos animais divergentes para EA foram utilizados os dados do ensaio de eficiência alimentar de Campos (2017). CAR= Consumo Alimentar Residual. GPR= Ganho de Peso Residual. ECA= Eficiência de Conversão Alimentar. CMS= Consumo de matéria seca. GMD= Ganho médio diário. PV= Peso vivo. PV^{0,75} = Peso vivo metabólico.

4.2 Consumo e Digestibilidade Aparente

Não houve efeito da divergência para CAR sobre o consumo de MS (Kg/dia, g/Kg PV e g/Kg PV^{0,75}), consumo de MO, PB, EE e frações fibrosas, e coeficientes de digestibilidade da MS, MO, PB, FDA e EE (Tabela 3).

As novilhas de alta e baixa eficiência para CAR apresentaram diferenças no CMS (4,6 vs 5,1 kg/dia) no ensaio de EA de Campos (2017), que foi utilizado para ranquear e estabelecer os grupos de alta e baixa eficiência do presente trabalho (Tabela 2). Entretanto, essa diferença não foi observada quando foi considerada apenas o consumo do ensaio de metabolismo (6,8 vs 6,9 kg/dia, Tabela 3), o que pode ser justificado pelo curto período do ensaio (5 dias) em relação à avaliação do consumo na prova de EA (113 dias). De forma semelhante, MacDonald et al. (2016), não encontraram diferenças no CMS (kg/d) entre animais divergentes para CAR, mensurado em um período de 5 dias.

A digestibilidade total é associada à habilidade digestiva de cada indivíduo, animais com maior eficiência digestiva perdem menos energia nas fezes e espera-se que sejam energeticamente mais eficientes. Segundo Herd et al. (2004), a variação na digestibilidade dos alimentos explica em 10% a variação na divergência do CAR.

Animais do grupo de alta eficiência para CAR apresentaram uma tendência de mostrar maior digestibilidade para FDNcp (g/kg), ($P = 0,06$) e DCNF (g/kg), ($P = 0,08$) na (Tabela 3). Os estudos que comparam a digestibilidade da dieta entre grupos divergentes para CAR são contraditórios. Os dados obtidos no presente estudo corroboram com os de Richardson & Herd (2004); Paulino (2006) e Reis et al., (2015), que também não encontraram diferenças na digestibilidade para grupos divergentes para CAR. Já Nkrumah et al. (2006) em estudos com touros Angus e Charolês, reportaram tendência em relação ao CAR com digestibilidades aparente de MS ($r = -0,33$) e PB ($r = -0,34$).

Os grupos divergentes para GPR apresentaram CMS semelhantes no ensaio de EA (Campos, 2017) e no ensaio de metabolismo (7,0 vs 6,6 kg/d). Crowley et al. (2010), avaliaram fenótipos de 2605 touros na Irlanda e observaram que os animais de alto GPR apresentaram CMS ligeiramente maior ($P < 0,05$) em relação aos animais de baixo GPR (10,8 v 10,6). A digestibilidade da MS e demais componentes nutricionais foi semelhante entre os grupos de alta e baixa eficiência para GPR.

Não houve diferença no ensaio de digestibilidade para consumo entre os grupos de baixa e alta eficiência para ECA, ($P > 0,05$). No entanto, foi encontrada maior

digestibilidade do CNF para o grupo de alta ECA ($P = 0,007$), corroborando com Arndt et al. (2015), que também encontraram maior digestibilidade de CNF para o grupo de alta ECA ($P=0,03$) ao avaliarem vacas da raça Holandês em lactação. Mas estes autores também reportaram maiores coeficientes de digestibilidade para MS, MO, PB, EE para as vacas de alta ECA.

Tabela 3. Consumo e digestibilidade aparente de nutrientes em novilhas leiteiras com alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e eficiência conversão alimentar (ECA)

| Tratamentos (unidade) | Grupo CAR | | EPM | P-valor | Grupo GPR | | EPM | P-valor | Grupo ECA | | EPM | P-valor |
|--------------------------------|------------|------------|-------|---------|---------------|------------|-------|---------|---------------|----------------|-------|---------|
| | Alta | Baixa | | | Alta | Baixa | | | Alta | Baixa | | |
| | Eficiência | Eficiência | | | ta Eficiência | Eficiência | | | ta Eficiência | ixa Eficiência | | |
| MS (Kg/dia) | 6,84 | 6,86 | 0,15 | 0,830 | 7,04 | 6,62 | 0,15 | 0,097 | 6,72 | 6,78 | 0,14 | 0,083 |
| MS (g /Kg PV) | 23,2 | 23,3 | 0,01 | 0,481 | 20,4 | 20,2 | 0,01 | 0,604 | 20,2 | 20,3 | 0,01 | 0,863 |
| MS (g /Kg PV ^{0,75}) | 95,4 | 97,1 | 0,01 | 0,591 | 90,3 | 90,1 | 0,01 | 0,921 | 90,1 | 90,2 | 0,01 | 0,956 |
| MO (Kg/dia) | 6,40 | 6,40 | 0,11 | 0,994 | 6,48 | 6,25 | 0,11 | 0,252 | 6,25 | 6,29 | 0,12 | 0,121 |
| PB (Kg/dia) | 1,13 | 1,18 | 0,02 | 0,275 | 1,15 | 1,14 | 0,02 | 0,937 | 1,11 | 1,14 | 0,02 | 0,400 |
| FDA (Kg/dia) | 1,61 | 1,63 | 0,02 | 0,753 | 1,62 | 1,58 | 0,03 | 0,387 | 1,58 | 1,57 | 0,02 | 0,736 |
| FDN _{cp} (Kg/dia) | 2,70 | 2,67 | 0,05 | 0,751 | 0,17 | 0,18 | 0,05 | 0,230 | 6,27 | 2,63 | 0,05 | 0,106 |
| EE (Kg/dia) | 0,17 | 0,18 | 0,01 | 0,603 | 2,43 | 2,31 | 0,01 | 0,708 | 0,16 | 0,18 | 0,01 | 0,113 |
| Digestibilidade (g/ Kg) | | | | | | | | | | | | |
| DMS | 747,99 | 734,13 | 5,42 | 0,208 | 747,27 | 740,68 | 6,00 | 0,594 | 745,15 | 728,29 | 6,48 | 0,199 |
| DMO | 766,97 | 752,43 | 5,10 | 0,128 | 761,74 | 761,83 | 5,51 | 0,993 | 761,89 | 746,09 | 5,65 | 0,166 |
| DPB | 785,05 | 783,57 | 5,54 | 0,902 | 783,12 | 789,31 | 6,25 | 0,631 | 780,24 | 776,33 | 6,16 | 0,758 |
| DFDA | 608,06 | 587,24 | 11,36 | 0,371 | 592,75 | 596,70 | 12,03 | 0,874 | 597,34 | 571,55 | 10,98 | 0,248 |
| DFDN _{cp} | 634,00 | 603,70 | 8,85 | 0,061 | 623,09 | 621,73 | 9,45 | 0,945 | 622,95 | 596,69 | 9,56 | 0,570 |
| DEE | 779,30 | 803,25 | 12,33 | 0,343 | 781,09 | 806,27 | 12,43 | 0,322 | 779,99 | 810,78 | 12,56 | 0,228 |
| DCNF | 906,36 | 899,82 | 2,18 | 0,082 | 905,24 | 903,51 | 1,92 | 0,661 | 906,97 | 894,23 | 2,50 | 0,007 |

Os dados de IMS são restritos ao período de 5-d de mensuração do ensaio de digestibilidade. MS= Matéria seca. MO=Matéria Orgânica. PB= Proteína bruta. FDA = Fibra detergente ácido. FDN_{cp}= Fibra detergente neutro corrigida para cinza e proteína.EE= Extrato Etéreo. DMS= Digestibilidade da Matéria seca. DMO=Digestibilidade da Matéria Orgânica. DPB= Digestibilidade da Proteína bruta. DFDA = Digestibilidade da Fibra detergente ácido. DFDN_{cp} = Digestibilidade da Fibra detergente neutro corrigida para cinza e proteína. DEE= Digestibilidade do Extrato Etéreo. DCNF= Digestibilidade dos carboidratos não fibrosos.

4.3 Partição de Energia

Não foram observadas diferenças para a ingestão de energia bruta (IEB) entre os grupos divergentes para CAR, GPR e ECA, de forma semelhante ao que foi observado para o consumo de matéria seca durante o ensaio de metabolismo (Tabela 4).

Os consumos de energia digestível e metabolizável, as perdas diárias de energia nas fezes, urina e metano expressos em (Mcal/d), a relação EM/ED e o balanço energético (BE) foram semelhantes entre os grupos divergentes para CAR. A produção de calor (kcal/d/PV^{0,75}), foi menor (P=0,02) para o grupo mais eficiente para CAR.

Considerando-se a divergência para GPR, as perdas de energia na urina e na forma de calor (Mcal/dia) foram maiores para o grupo mais eficiente, mas para a produção de calor (Mcal/GMD), o grupo mais eficiente para GPR apresentou menor valor (P=0,001).

Considerando-se os grupos divergentes para ECA, houve diferença na produção de calor (kcal/d/PV^{0,75}; P=0,03 e Mcal/GMD; P=0,0002), sendo os maiores valores encontrados para o grupo menos eficiente. Também houve diferença no BE (P=0,03), sendo maior a retenção de energia para os animais mais eficientes.

Os parâmetros de partição energética, expressos como porcentagem do CEB (Tabela 4), não diferiram entre os grupos mais e menos eficientes para CAR e GPR. Já entre os grupos divergentes para ECA, houve tendência de diferença para EM (P=0,08), produção de calor (P=0,06) e uma diferença significativa (P=0,04) para BE. Os animais mais eficientes para ECA apresentaram maior retenção de energia corporal.

No presente estudo, o valor médio da relação EM/ED foi de 0,88 Mcal/d. O NRC (2000) adota um valor de 0,8 para a EM/ED, já o CISRO (2007) indica valores de 0,85, considerando dietas contendo cereais e grãos e o AFRC (1993) valores entre 0,80 a 0,86. O valor do presente trabalho foi superior, mas está próximo a 0,86 observado por Ferreira (2014), que avaliou novilhos Girolando F1 em condições mais próximas de alimentação e composição genética em relação ao presente trabalho.

Arndt et al. (2015), observaram que vacas de alta ECA apresentam 16% a mais de ED em relação às menos eficientes e que a perda fecal foi superior em 33% para as vacas de alta ECA, mas também não encontraram diferenças nas perdas diárias de energia na forma de CH₄ e urina entre os grupos divergentes para ECA.

Os valores médios de perda de energia pela urina, apresentados no presente estudo (5,0%), correspondem ao valores de 3 à 5 % propostos por Van Soest (1994). Lage (2011), encontrou perdas de 5,5% da EB ingerida na forma de urina para novilhas Girolando F1

e Ferreira (2014), 3,9 a 5,1 % para novilhos Girolando F1 sob diferentes planos nutricionais. Os animais mais eficientes para GPR perderam mais energia na forma de urina (1,50 vs 1,26 Mcal/d) em relação aos menos eficientes, provavelmente devido à maior taxa de ganho e à possíveis alterações na composição química dos tecidos depositados (gordura e proteína).

O valor médio de perda de energia na forma de metano para os três índices de EA 6,4%, foi próximo aos 6,6% reportado Lage (2011) e aos 6% indicado por Johnson e Johnson (1995). Nkrumah et al. (2006), encontraram menores perdas de energia fecal e na forma de metano para animais de baixo CAR, mas não encontraram diferenças nas perdas energéticas via urina para os grupos divergentes para CAR. Hegarty et al. (2007); Jones et al. (2011) e Fitzsimons et al. (2013), também não encontraram diferenças na proporção da energia perdida como CH₄ entre fenótipos divergentes para CAR.

Um dos fatores que pode explicar a melhor EA é o menor gasto energético com produção de calor (Nkrumah et al., 2006). Animais de alta eficiência para CAR e ECA apresentaram uma perda de 4% a menos de energia na forma de PC (Kcal/d/ PV^{0,75}). O grupo eficiente para ECA apresentou 10% a menos de energia perdida na forma de PC (Mcal/GMD). Já o grupo de alta eficiência para GPR, apresentou maior perda de energia na forma calor (Mcal/dia), mas como esse índice não considera a eficiência de ganho de peso por kg de MS consumida, os animais de alta eficiência para GPR apresentaram menor PC (14%) em Mcal/GMD (Tabela 4).

Foi observada correlação ($P < 0,001$) entre produção de calor (Mcal/GMD) e GPR ($r = -0,87$) e ECA ($r = -0,74$). Os percentuais da EB ingerida disponíveis como ED, EM e ELg e as perdas na forma de energia fecal, CH₄, urina e PC para os grupos divergentes para CAR, GPR e ECA, podem ser observadas na Figura 2. As variações na PC para os três índices sugerem que este é um parâmetro importante para explicar os mecanismos fisiológicos que conferem maior EA em novilhas Girolando F1.

Os resultados de Basarab et al. (2003), trabalhando com as raças Angus, Hereford, Limousin, Gelbvieh, e Charolês; Nkrumah et al. (2006), em estudos gerados com touros Angus e Charolês e Paddock (2010), avaliando novilhas Brangus, evidenciaram que os animais mais eficientes apresentaram menores produções de calor. Já Almeida (2005) e Nascimento (2011), avaliando animais da raça Nelore e Souza (2012), avaliando o cruzamento Holandês x Zebu, chegaram a mesma conclusão para animais zebuínos.

O BE foi semelhante entre os grupos divergentes para CAR e GPR. Contudo, os animais de alta eficiência para ECA, apresentaram valores superiores ao do grupo de

baixa eficiência. Foi observada correlação entre BE e CAR ($r = 0,82$) e ECA ($r = 0,50$) e, para esse índice, a diferença foi de (7,2 vs 4,2 Mcal/dia) de melhor eficiência de utilização de EM para o grupo de alta eficiência permitiram maior GMD. Também foi observada correlação com CAR e EM ($r = 0,94$) e ECA ($r = 0,46$). Arndt et al. (2015), ao compararem grupos divergentes de vacas da raça Holandês para ECA, observaram melhor eficiência no uso da EM para o grupo de alta eficiência, já que a EL para produção de leite, ganho e manutenção foi de 41,9 vs 30,2 Mcal/dia para alta e baixa EA, respectivamente, representando uma diferença de 28%, próximo ao valor encontrado no presente trabalho.

Tabela 4. Partição energética em novilhas Girolando F1 divergentes para consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e eficiência de conversão alimentar (ECA)

| Tratamentos | Grupo CAR | | | | Grupo GPR | | | | Grupo ECA | | | |
|---------------------------------|--------------------|---------------------|-------|---------|--------------------|----------------------|------|---------|--------------------|---------------------|------|---------|
| | Alta Eficiência | Baixa Eficiência | EPM | P-valor | Alta Eficiência | Baixa Eficiência | EPM | P-valor | Alta Eficiência | Baixa Eficiência | EPM | P-Valor |
| IEB (Mcal/d) | 28,78 | 27,56 | 0,67 | 0,370 | 29,40 | 26,96 | 0,69 | 0,071 | 28,64 | 26,90 | 0,72 | 0,235 |
| E Fecal (Mcal/d) | 6,56 | 6,69 | 0,21 | 0,762 | 6,56 | 6,53 | 0,23 | 0,749 | 6,30 | 6,75 | 0,25 | 0,157 |
| ED (Mcal/d) | 22,22 | 20,88 | 0,57 | 0,269 | 22,84 | 20,45 | 0,65 | 0,065 | 22,34 | 20,16 | 0,69 | 0,114 |
| E Urinária (Mcal/d) | 1,47 | 1,46 | 0,05 | 0,916 | 1,50 | 1,26 | 0,05 | 0,015 | 1,36 | 1,42 | 0,06 | 0,291 |
| E CH ₄ (Mcal/d) | 1,76 | 1,78 | 0,06 | 0,617 | 1,79 | 1,81 | 0,05 | 0,820 | 1,74 | 1,82 | 0,06 | 0,467 |
| EM (Mcal/d) | 19,00 | 17,61 | 0,56 | 0,240 | 19,55 | 17,35 | 0,63 | 0,068 | 19,25 | 16,89 | 0,67 | 0,086 |
| EM/ED (Mcal/d) | 0,85 | 0,84 | 0,01 | 0,236 | 0,85 | 0,84 | 0,01 | 0,563 | 0,85 | 0,84 | 0,01 | 0,097 |
| PC (kcal/d/PV ^{0,75}) | 115,56 | 177,80 | 13,19 | 0,021 | 174,61 | 175,81 | 1,86 | 0,755 | 171,02 | 178,33 | 1,80 | 0,039 |
| PC (Mcal/d) | 12,32 | 12,62 | 0,21 | 0,240 | 12,68 | 12,06 | 0,20 | 0,023 | 12,01 | 12,68 | 0,19 | 0,097 |
| PC (Mcal/GMD) | 14,50 | 14,61 | 0,25 | 0,834 | 13,43 | 15,97 | 2,99 | 0,001 | 13,61 | 15,55 | 2,23 | 0,0002 |
| BE (Mcal/d) | 6,67 | 4,98 | 0,62 | 0,268 | 6,87 | 5,29 | 0,67 | 0,251 | 7,24 | 4,21 | 0,73 | 0,037 |
| | | | | | | % EB ingerida | | | | | | |
| E Fecal | 22,91 | 24,21 | 0,63 | 0,311 | 22,50 | 24,21 | 0,78 | 0,286 | 22,40 | 24,96 | 0,88 | 0,153 |
| ED | 77,09 | 75,79 | 0,63 | 0,311 | 77,50 | 75,78 | 0,78 | 0,282 | 77,59 | 75,04 | 0,88 | 0,153 |
| E Urinária | 5,17 | 5,36 | 0,23 | 0,699 | 5,19 | 4,70 | 0,19 | 0,216 | 4,81 | 5,31 | 0,23 | 0,306 |
| E CH ₄ | 6,14 | 6,51 | 0,21 | 0,373 | 6,18 | 6,77 | 0,21 | 0,162 | 6,17 | 6,77 | 0,23 | 0,204 |
| EM | 68,37 | 66,60 | 0,71 | 0,220 | 68,73 | 66,67 | 0,85 | 0,235 | 69,01 | 65,60 | 0,97 | 0,080 |
| PC | 43,49 | 46,02 | 1,15 | 0,282 | 43,78 | 45,04 | 1,14 | 0,591 | 42,83 | 47,31 | 1,21 | 0,061 |
| BE | 24,88 | 20,57 | 1,62 | 0,189 | 24,95 | 21,63 | 1,81 | 0,371 | 26,18 | 18,29 | 1,97 | 0,042 |

IEB = ingestão de energia bruta. E Fecal = energia fecal. ED = energia digestível. E Urinária = energia urinária. E CH₄ = energia metano. EM = energia metabolizável. PC = produção de calor. BE = Balanço energético.

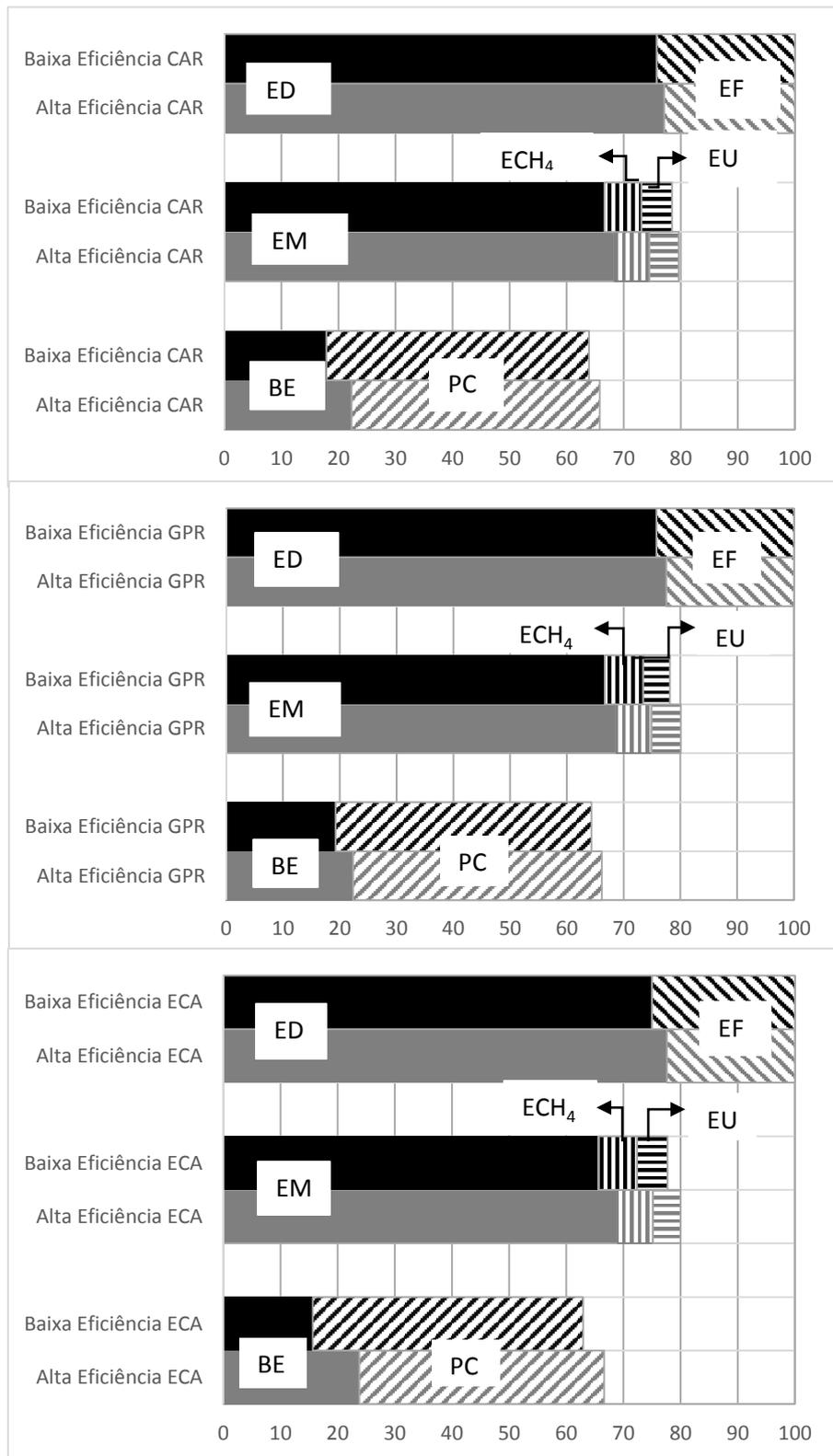


Figura 2. Partição de energia em novilhas Girolando F1 divergentes para CAR, GPR e ECA (grupo de alta e baixa eficiência representados pelas barras em preto e cinza, respectivamente). ED = energia digestível; EF = energia fecal; EM = Energia Metabolizável; ECH₄ = energia na forma de metano; EU = energia da urina; BE = balanço energético positivo; PC = produção de calor.

4.4 Partição do Nitrogênio

No presente trabalho, não foram observadas diferenças no consumo e na digestibilidade do N para as variáveis nitrogênio fecal, nitrogênio digestível, nitrogênio urinário, nitrogênio metabolizável, nitrogênio digestível/nitrogênio metabolizável e nitrogênio fecal + urinário, entre os grupos divergentes para CAR e GPR (Tabela 5). Segundo Alves et al. (2014), quando não há diferença na digestibilidade de N, o consumo é quem influencia o balanço de nitrogênio.

Na comparação entre os grupos divergentes para ECA, o grupo de alta eficiência perdeu menos nitrogênio na urina (12,27 g/d) em relação ao grupo de baixa ECA. Já Arndt et al. (2015), encontraram excreção urinária de N semelhante entre grupos divergentes para ECA, mas o N digestível e o N metabolizável foram maiores para o grupo de alta ECA ao avaliarem vacas de leite no meio da lactação. Rius et al. (2012), compararam vacas da raça Holandês em lactação divergentes para CAR e observaram que as vacas mais eficientes apresentavam maior digestibilidade do N (77,2 vs 75,5%) e N fecal inferior (23,1 vs 24,7%) em comparação com animais ineficientes para CAR.

Uma melhor eficiência na utilização de N para os ruminantes pode ser alcançada através da compreensão dos principais mecanismos envolvidos no controle do metabolismo do N, como a eficiência da assimilação de N a partir do N reciclado para o rúmen, fatores que controlam o metabolismo de AA no corpo (Calsamiglia et al., 2010) e a seleção de animais mais eficientes no uso de energia e proteína das dietas (Nkrumah et al. 2006), pois o excesso de nitrogênio excretado resulta em perda de energia, podendo reduzir a produção do animal (Gonzalez et al., (2000).

Tabela 5. Partição de nitrogênio em novilhas leiteiras com alta e baixo consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e eficiência de conversão alimentar (ECA)

| Tratamentos | Grupo CAR | | | | Grupo GPR | | | | Grupo ECA | | | |
|-----------------------|--------------------|---------------------|------|---------|--------------------|---------------------|------|---------|--------------------|---------------------|------|---------|
| | Alta Eficiência | Baixa Eficiência | EPM | P-valor | Alta Eficiência | Baixa Eficiência | EPM | P-valor | Alta Eficiência | Baixa Eficiência | EPM | P-valor |
| N Ingerido (g/d) | 180,9 | 189,2 | 3,35 | 0,219 | 183,4 | 182,9 | 3,24 | 0,937 | 177,5 | 183,5 | 3,29 | 0,375 |
| N Fecal (g/d) | 38,7 | 40,9 | 1,19 | 0,378 | 39,6 | 38,6 | 1,18 | 0,599 | 38,7 | 41,2 | 1,29 | 0,698 |
| N Digestível (g/d) | 142,1 | 148,3 | 2,85 | 0,287 | 143,8 | 144,3 | 2,92 | 0,943 | 138,8 | 142,3 | 2,86 | 0,549 |
| N Urinário (g/d) | 102,4 | 103,5 | 2,72 | 0,505 | 99,5 | 99,9 | 3,01 | 0,807 | 94,6 | 106,9 | 2,74 | 0,021 |
| N Metabolizável (g/d) | 39,7 | 44,8 | 3,76 | 0,512 | 44,4 | 44,4 | 3,91 | 0,996 | 44,2 | 35,4 | 3,66 | 0,177 |
| N Dig/N Met (g/d) | 0,27 | 0,30 | 0,02 | 0,477 | 0,30 | 0,30 | 0,02 | 0,960 | 0,30 | 0,24 | 0,02 | 0,201 |
| NFU (g/d) | 141,1 | 144,4 | 3,23 | 0,327 | 139,0 | 138,5 | 3,66 | 0,689 | 133,4 | 148,1 | 3,32 | 0,905 |
| % N ingerido | | | | | | | | | | | | |
| N Fecal | 21,5 | 21,6 | 0,58 | 0,956 | 21,7 | 21,1 | 0,63 | 0,631 | 21,9 | 22,3 | 0,64 | 0,779 |
| N Digestível | 78,5 | 78,4 | 0,58 | 0,919 | 78,3 | 78,9 | 0,63 | 0,631 | 78,0 | 77,6 | 0,64 | 0,778 |
| N-Urinário | 57,1 | 54,7 | 1,69 | 0,485 | 54,5 | 54,8 | 1,69 | 0,937 | 53,7 | 58,5 | 1,65 | 0,149 |
| N Metabolizável | 21,3 | 23,7 | 0,02 | 0,543 | 23,8 | 24,1 | 0,02 | 0,934 | 24,4 | 19,2 | 0,01 | 0,177 |
| NFU | 78,6 | 76,2 | 1,89 | 0,541 | 76,2 | 75,9 | 1,99 | 0,934 | 75,6 | 80,8 | 1,90 | 0,177 |

N Ingerido= Nitrogênio Ingerido. N Fecal= Nitrogênio Fecal. N Digestível= Nitrogênio Digestível. N Urinário= Nitrogênio Urinário.

N Metabolizável= Nitrogênio Metabolizável. N Dig/N Met= Nitrogênio Digestível/ Nitrogênio Metabolizável. NFU= Nitrogênio Fecal + Nitrogênio Urinário.

4.5 Trocas Respiratórias e Produção de CH₄

Animais de alta eficiência para CAR e ECA apresentaram menor consumo de O₂ (L/kg PV^{0,75}) e menor produção de CO₂ (L/kg PV^{0,75}) do que o grupo de baixa eficiência. Já para GPR, a relação foi inversa: os animais mais eficientes consumiram mais O₂ e produziram mais CO₂ (L/dia), (Tabela 6). Foi encontrada correlação entre CAR e consumo de O₂ (r = 0,30), produção de CO₂ (r = 0,33) e CH₄ (r = 0,32) expressos em L/kg PV^{0,75}. O GPR apresentou correlação (r = 0,32) com o volume de O₂ consumido (L/d) e a ECA apresentou correlação com o consumo de O₂ L/kg PV^{0,75} (r = -0,29), produção de CO₂ L/kg PV^{0,75} (r = -0,42) e L/d (r = -0,31) (Tabela 9). Os valores de consumo de O₂ e produção de CO₂ e CH₄ seguiram padrão de variação condizentes com a PC e partição energética. Os animais mais eficientes para CAR e ECA consumiram menos O₂ e produziram menos CO₂, enquanto os animais mais eficientes para GPR apresentaram relação inversa, pois demandaram mais O₂ e produziram mais CO₂ como resposta ao metabolismo que permitiu menor consumo de MS/kg de GMD. O VO₂ e VCO₂ observado no presente trabalho, foi próximo ao reportado por Ferreira (2014) para novilhos Girolando sob diferentes planos nutricionais.

Animais de alta eficiência para GPR e ECA apresentaram 16 e 10% menor produção de CH₄/GMD em relação aos animais de baixa eficiência. O maior ganho de peso para os animais mais eficientes para esses índices de EA foram capazes de influenciar a intensidade de emissão em relação ao GMD. Assim, o uso desses índices como métrica de eficiência, além de conferirem maiores ganhos por kg de matéria seca consumida (Tabela 2), constituem-se em estratégia de mitigação de metano entérico.

McDonnell et al. (2016), avaliaram novilhas de leite a pasto divergentes para CAR. Estes autores reportaram correlação de 0,42 entre IMS e CH₄/d e observaram que as emissões absolutas de CH₄ g/d e g/kg PV^{0,75} não diferiram entre os grupos divergentes para CAR, já a emissão de CH₄ g/kg IMS e CH₄ % EB foi maior para as novilhas de baixo CAR. Waghorn & Hegarty (2011), não observaram diferenças nas emissões de CH₄ entre vacas leiteiras divergentes para CAR. Já nos trabalhos com gado de corte de Nkrumah et al. (2006); Hegarty et al. (2007); Jones et al. (2011) e Fitzsimons et al. (2013). Animais de baixo CAR (mais eficientes) apresentaram menor produção de CH₄/d. Uma das explicações para a menor emissão foi a redução da IMS associada ao fenótipo baixo CAR (Kelly et al., 2010a, b; Lawrence et al., 2011).

Ardnt et al. (2015), encontraram emissões semelhantes de CH₄ e CO₂ g/d para vacas em lactação de alta e baixa ECA mas, quando expressos em CH₄/IMS g/kg e CO₂/IMS g/kg), as emissões foram menores para vacas do grupo de alta ECA.

A produção média de 132,185 g/d de CH₄ está condizente com valores encontrados por Moreira (2016) para novilhas leiteiras Girolando, emissões de 139,40 g/d de CH₄, já MacDonnel et al. (2016), avaliaram novilhas mestiças Limousin x Holandês e encontraram valores superiores, 156 g/d de CH₄.

Tabela 6. Consumo de oxigênio e emissões de dióxido de carbono e metano em novilhas de alta e baixa eficiência para consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e eficiência de conversão alimentar (ECA).

| Tratamentos | Grupo CAR | | | | | | Grupo GPR | | | | | | Grupo ECA | | | | | |
|---|------------|------------|-------|---------|------|-------|------------|------------|-------|---------|------|-------|------------|------------|-------|---------|------|-------|
| | Alta | Baixa | EPM | P-valor | | | Alta | Baixa | EPM | P-valor | | | Alta | Baixa | EPM | P-valor | | |
| | Eficiência | Eficiência | | Grupo | Dia | G x D | Eficiência | Eficiência | | Grupo | Dia | G x D | Eficiência | Eficiência | | Grupo | Dia | G x D |
| VO ₂ (L/kg PV ^{0,75}) | 33,89 | 35,25 | 0,30 | 0,04 | 0,73 | 0,22 | 34,61 | 34,97 | 0,28 | 0,72 | 0,54 | 0,98 | 33,97 | 35,47 | 0,28 | 0,02 | 0,15 | 0,74 |
| VO ₂ (L/d) | 2484,58 | 2525,57 | 32,96 | 0,46 | 0,94 | 0,21 | 2562,31 | 2425,80 | 31,99 | 0,02 | 0,85 | 0,67 | 2424,13 | 2547,13 | 29,33 | 0,12 | 0,38 | 0,49 |
| VCO ₂ (L/kg PV ^{0,75}) | 35,56 | 37,54 | 0,38 | 0,05 | 0,57 | 0,23 | 36,33 | 36,92 | 0,36 | 0,58 | 0,71 | 0,27 | 35,37 | 37,66 | 0,37 | 0,02 | 0,19 | 0,67 |
| VCO ₂ (L/d) | 2607,36 | 2690,10 | 37,69 | 0,25 | 0,94 | 0,26 | 2689,75 | 2562,31 | 36,43 | 0,04 | 0,69 | 0,16 | 2523,33 | 2706,25 | 35,29 | 0,27 | 0,23 | 0,38 |
| VCH ₄ (L/kg PV ^{0,75}) | 2,48 | 2,65 | 0,04 | 0,11 | 0,91 | 0,56 | 2,54 | 2,57 | 0,04 | 0,80 | 0,99 | 0,42 | 2,54 | 2,60 | 0,04 | 0,64 | 0,67 | 0,70 |
| VCH ₄ (L/d) | 181,34 | 190,17 | 3,47 | 0,24 | 0,71 | 0,58 | 188,00 | 178,37 | 3,49 | 0,27 | 0,79 | 0,35 | 180,90 | 187,36 | 3,44 | 0,20 | 0,23 | 0,82 |
| CH ₄ (g/dia) | 130,02 | 136,35 | 2,48 | 0,19 | 0,66 | 0,62 | 134,80 | 127,89 | 2,50 | 0,27 | 0,79 | 0,35 | 129,71 | 134,34 | 2,46 | 0,20 | 0,23 | 0,82 |
| CH ₄ (g/ kg PV) | 0,43 | 0,46 | 0,01 | 0,08 | 0,99 | 0,69 | 0,44 | 0,45 | 0,01 | 0,47 | 0,91 | 0,38 | 0,44 | 0,45 | 0,01 | 0,73 | 0,91 | 0,72 |
| CH ₄ (g/ kg PV ^{0,75}) | 1,77 | 1,90 | 0,03 | 0,10 | 0,87 | 0,56 | 1,82 | 1,84 | 0,03 | 0,80 | 0,98 | 0,42 | 1,82 | 1,87 | 0,03 | 0,63 | 0,67 | 0,72 |
| CH ₄ / CMS (g/kg) | 19,33 | 19,84 | 0,49 | 0,76 | 0,26 | 0,56 | 19,52 | 20,78 | 0,48 | 0,33 | 0,98 | 0,31 | 19,72 | 20,66 | 0,52 | 0,53 | 0,68 | 0,82 |
| CH ₄ / CMO (g/kg) | 28,18 | 26,99 | 0,94 | 0,69 | 0,30 | 0,67 | 26,18 | 29,86 | 0,91 | 0,15 | 0,80 | 0,28 | 26,57 | 28,39 | 0,70 | 0,36 | 0,61 | 0,79 |
| CH ₄ / CFDN (g/kg) | 46,61 | 48,29 | 1,12 | 0,54 | 0,72 | 0,59 | 47,94 | 46,20 | 1,08 | 0,60 | 0,79 | 0,49 | 47,28 | 48,79 | 0,99 | 0,53 | 0,26 | 0,73 |
| CH ₄ / DMS (g/kg) | 20,59 | 21,42 | 0,48 | 0,53 | 0,72 | 0,60 | 21,18 | 20,47 | 0,48 | 0,63 | 0,74 | 0,49 | 21,12 | 21,29 | 0,46 | 0,83 | 0,25 | 0,72 |
| CH ₄ / DMO (g/kg) | 28,04 | 28,44 | 0,61 | 0,81 | 0,57 | 0,77 | 27,87 | 27,69 | 0,64 | 0,96 | 0,63 | 0,45 | 27,86 | 28,62 | 0,66 | 0,64 | 0,24 | 0,72 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|------|------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|
| CH ₄ / DFDN (g/kg) | 76,77 | 81,70 | 2,28 | 0,37 | 0,65 | 0,66 | 80,03 | 76,80 | 2,25 | 0,61 | 0,71 | 0,55 | 78,91 | 85,29 | 2,24 | 0,28 | 0,22 | 0,72 |
| CH ₄ / GMD (g/kg) | 153,29 | 157,49 | 2,78 | 0,63 | 0,66 | 0,59 | 142,58 | 169,00 | 3,45 | 0,01 | 0,71 | 0,28 | 147,12 | 163,29 | 3,07 | 0,04 | 0,28 | 0,94 |

VCO₂= Volume de Oxigênio. VCO₂= Volume de Dióxido de Carbono. VCH₄= Volume de Metano. CH₄/CMS = Metano por consumo de matéria seca. CH₄/CMO= Metano por consumo de matéria orgânica. CH₄/CFDN=Metano por consumo de fibra detergente neutro. CH₄/DMS= Metano por digestibilidade de matéria seca. CH₄/DMO= Metano por digestibilidade de matéria orgânica. CH₄/DFDN= Metano por digestibilidade da fibra em detergente neutro. CH₄/GMD= Metano pelo ganho médio diário.

4.6 Metabólitos Sanguíneos e Hormonais

Os grupos de fenótipos divergentes para CAR apresentaram concentrações de glicose e AGNE semelhantes (Tabela 7). Kelly et al. (2010), também não encontraram correlações entre CAR e as concentrações de AGNE e glicose ($P > 0,10$), indicando que os animais não apresentaram diferenças na captação de glicose pelos tecidos. Animais de alta eficiência para CAR apresentaram menor concentração de BHBA (0,80 vs 0,88 mmol/L). Kelly et al. (2010), relataram que os níveis de BHBA na circulação foi um preditor de eficiência energética para avaliações de EA. O grupo eficiente para CAR apresentou também menores valores de insulina (31,22 vs 41,59 μ IU/mL) e maior relação glicose:insulina (0,17 vs 0,12 mmol/L/ μ IU/mL) do que animais de baixa eficiência para CAR (Tabela 7). Já Kelly et al. (2010), avaliaram novilhas cruzadas Limousin x Holandês e não encontraram correlação entre insulina e CAR.

Gomes et al. (2011, 2012, 2013a), realizaram avaliações para identificar os mecanismos biológicos relacionados com a variação fenotípica para CAR, não observaram diferenças na glicose plasmática entre animais de alto e baixo CAR, enquanto Fernandes (2014), observou valores inferiores (89,5 e 94,6mg/dL) para os animais mais eficientes para CAR.

O BHBA foi menor para os animais de alta eficiência para CAR (Tabela 7), corroborando os resultados de Kelly et al. (2010) que, ao avaliarem novilhas Limousin x Holandês, encontraram correlação com CAR ($r = 0,40$).

Não foram encontradas diferenças entre os valores de AGNE para os grupos divergentes para CAR, GPR e ECA (Tabela 7). Já Kelly et al. (2010), encontraram correlação entre CAR e AGNE ($r = -0,21$) ao avaliarem novilhas Limousin x Holandês. A concentração sérica de AGNE depende do grau de mobilização do tecido adiposo em resposta ao BEN. São fonte de energia e metabolizados no fígado e por outros tecidos e a oxidação celular faz parte dos sinais fisiológicos de saciedade (Van Saun, 2000). As concentrações encontradas no presente estudo variaram de 0,7 a 0,9 mmol/L e indicam a saúde dos animais experimentais. Moreira (2016), encontrou 0,2 mmol / L de AGNE para novilhas Girolando F1.

Além das diferenças observadas para os grupos divergentes para CAR, apenas a variável glicose diferenciou entre os grupos divergentes para ECA (5,24 vs 4,92 mmol/L). Kelly et al. (2010), encontraram para novilhas de corte Limousin x Holandês concentrações de glicose circulante de 4,46 vs 4,30 mmol/L para animais eficientes e

menos eficientes, respectivamente, apresentando uma fraca correlação entre glicose e ECA ($r = -0,25$; $P = 0,08$). Já a relação glicose:insulina foi positivamente associada com ECA ($r = 0,33$; $P < 0,05$).

Tabela 7. Avaliação hormonal e metabólitos de alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e eficiência de conversão alimentar (ECA), em novilhas Girolando

| Tratamentos | Grupo CAR | | | | Grupo GPR | | | | Grupo ECA | | | |
|-----------------------------------|------------|------------|------|-----------------|------------|------------|------|-----------------|------------|------------|------|-----------------|
| | Alta | Baixa | EPM | <i>P</i> -valor | Alta | Baixa | EPM | <i>P</i> -valor | Alta | Baixa | EPM | <i>P</i> -valor |
| | Eficiência | Eficiência | | | Eficiência | Eficiência | | | Eficiência | Eficiência | | |
| Insulina (μ IU/mL) | 31,22 | 41,59 | 2,29 | 0,021 | 38,34 | 32,23 | 2,17 | 0,168 | 32,82 | 32,30 | 1,81 | 0,889 |
| Glicose (mmol/L) | 4,98 | 5,08 | 0,07 | 0,986 | 5,17 | 4,96 | 0,06 | 0,097 | 5,24 | 4,92 | 0,06 | 0,011 |
| Glic:Ins (mmol/L/ μ IU/mL) | 0,17 | 0,12 | 0,01 | 0,016 | 0,15 | 0,16 | 0,01 | 0,799 | 0,17 | 0,15 | 0,01 | 0,236 |
| β -hydroxybutyrate (mmol/L) | 0,80 | 0,88 | 0,02 | 0,033 | 0,82 | 0,80 | 0,02 | 0,782 | 0,81 | 0,79 | 0,02 | 0,662 |
| AGNE (mmol/L) | 0,08 | 0,07 | 0,01 | 0,608 | 0,07 | 0,08 | 0,01 | 0,185 | 0,07 | 0,09 | 0,01 | 0,202 |

Glic:Ins= Glicose:Insulina. β -hydroxybutyrate= Betahidroxibutirato. AGNE = Ácidos graxos não esterificados.

4.7 Termografia Infravermelha

Não foi encontrada diferença de temperaturas máximas entre os grupos divergentes para CAR, GPR e ECA (Tabela 8). Também não foram observadas correlações entre as temperaturas e os parâmetros de EA (CAR, GPR e ECA), na Tabela 9.

Montanholi et al.(2010), obtiveram temperaturas de focinho mais baixas para animais menos eficientes (alto CAR), entretanto, para novilhas Girolando F1 a termografia infravermelho não permitiu diferenciar as divergências para EA.

Castro Bulle et al. (2007); Hegarty et al. (2007); Montanholi et al. (2007) e Martello et al. (2015), sugeriram que animais mais eficientes apresentam menor temperatura de superfície corporal que animais menos eficientes. Schaefer et al. (2005) e Montanholi et al. (2008a), observaram correlações positivas entre TIV e o CAR, apresentando menor temperatura de superfície corporal para animais eficientes para CAR. Essas observações juntamente com os resultados de Montanholi et al. (2008b), sobre as relações entre a produção de calor real e TIV, sustentam a hipótese de que animais menos eficiente têm maior temperatura da pele, que podem estar relacionadas à requisitos de manutenção dos animais.

Os experimentos que encontraram diferenças para grupos de alta e baixa EA foram realizados principalmente em países de clima temperado e em condições de baixas temperaturas, condição em que os animais têm gastos energéticos para aumentar a temperatura corporal. Entretanto, em condições tropicais as quais o presente trabalho foi conduzido, os animais apresentam gastos energéticos para dissipar o calor, o que parece alterar a relação entre EA e as temperaturas obtidas nas diferentes partes anatômicas avaliadas.

Tabela 8. Características da Termografia Infravermelha em alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR) e eficiência de conversão alimentar (ECA), em novilhas Girolando.

| Tratamentos (Temp. Max. °C) | Grupo CAR | | EPM | P-valor | Grupo GPR | | EPM | P-valor | Grupo ECA | | EPM | P-valor |
|--------------------------------|--------------------|---------------------|------|---------|--------------------|---------------------|------|---------|--------------------|---------------------|------|---------|
| | Alta Eficiência | Baixa Eficiência | | | Alta Eficiência | Baixa Eficiência | | | Alta Eficiência | Baixa Eficiência | | |
| Olho | 38,40 | 38,26 | 0,11 | 0,511 | 38,22 | 38,48 | 0,13 | 0,362 | 38,25 | 38,23 | 0,14 | 0,955 |
| Focinho | 36,80 | 36,83 | 0,20 | 0,540 | 36,89 | 36,66 | 0,21 | 0,977 | 36,83 | 36,85 | 0,18 | 0,974 |
| Vulva | 38,71 | 38,48 | 0,12 | 0,334 | 38,79 | 38,59 | 0,09 | 0,492 | 38,68 | 38,42 | 0,11 | 0,231 |
| Membro anterior direito | 36,67 | 36,50 | 0,16 | 0,937 | 36,85 | 36,75 | 0,15 | 0,590 | 36,84 | 36,37 | 0,15 | 0,162 |

Temp. Max.°C= Temperatura Máxima em Grau Celsius.

Tabela 9. Correlações de Pearson ou Spermán^a entre os índices de EA (CAR, GPR e ECA) e parâmetros de consumo, digestibilidade, partição energética, partição de nitrogênio, trocas gasosas, metabólitos sanguíneos, hormônios e temperaturas máximas de diferentes partes anatómicas obtidas por termografia infravermelha

| Tratamentos (abrev. unit) | CAR | | GPR | | ECA | |
|--|--------------------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|
| | r | <i>P</i> -valor | r | <i>P</i> -valor | r | <i>P</i> -valor |
| Ingestão (kg/d) | | | | | | |
| MS | -0,02 | 0,911 | 0,24 | 0,251 | -0,02 | 0,900 |
| MS/kg PV | 0,13 | 0,540 | -0,09 | 0,674 | 0,05 | 0,812 |
| MS/kg PV ^{0,75} | 0,08 | 0,682 | 0,01 | 0,943 | 0,02 | 0,895 |
| MO | -0,01 | 0,959 | 0,18 | 0,391 | -0,02 | 0,898 |
| PB | 0,24 | 0,250 | 0,02 | 0,901 | -0,25 | 0,224 |
| FDA | 0,03 | 0,882 | 0,18 | 0,403 | 0,01 | 0,959 |
| FDN _{cp} | -0,09 | 0,672 | 0,18 | 0,390 | 0,02 | 0,890 |
| EE | 0,13 | 0,538 | -0,11 | 0,606 | -0,32 | 0,125 |
| CNF | -0,03 | 0,873 | 0,26 | 0,218 | 0,03 | 0,883 |
| Digestibilidade aparente (g/kg) | | | | | | |
| MS | -0,28 | 0,181 | 0,04 | 0,820 | 0,22 | 0,305 |
| MO | -0,26 | 0,214 | -0,04 | 0,848 | 0,23 | 0,272 |
| PB | -0,01 | 0,941 | -0,13 | 0,544 | -0,04 | 0,829 |
| FDA | -0,15 | 0,466 | -0,06 | 0,781 | 0,16 | 0,454 |
| FDNF _{cp} | -0,31 | 0,138 | -0,02 | 0,918 | 0,28 | 0,178 |
| EE | 0,26 | 0,218 | -0,11 | 0,583 | -0,27 | 0,198 |
| CNF | -0,37 | 0,074 | -0,03 | 0,866 | 0,34 | 0,107 |
| Partição de energia (Mcal/d) | | | | | | |
| IEB | -0,20 | 0,343 | 0,33 | 0,115 | 0,30 | 0,142 |
| E Fecal | -0,02 | 0,913 | -0,08 | 0,683 | -0,32 | 0,116 |
| ED | -0,10 | 0,611 | 0,37 | 0,068 | 0,44 | 0,029 |
| E Urina | -0,38 ^a | 0,061 | 0,53 | 0,007 | 0,01 | 0,931 |
| E CH ₄ | 0,08 | 0,692 | 0,02 | 0,912 | -0,16 | 0,429 |
| EM | 0,94 ^a | <,0001 | 0,36 | 0,078 | 0,46 | 0,021 |
| EM/ED | 0,44 ^a | 0,021 | 0,07 | 0,715 | 0,39 | 0,051 |
| PC(kcal/PV ^{0,75}) | 0,30 | 0,148 | -0,01 | 0,946 | -0,33 | 0,113 |
| PC(Mcal /PV) | 0,08 | 0,693 | 0,31 | 0,130 | -0,29 | 0,167 |
| PC (Mcal/GMD) | 0,07 | 0,444 | -0,87 | 0,0001 | -0,74 | 0,0001 |

| | | | | | | |
|---|-------------------|--------|--------|-------|--------|-------|
| BE | 0,82 ^a | <.0001 | 0,23 | 0,654 | 0,50 | 0,011 |
| Partição de Nitrogênio (g/d) | | | | | | |
| N Ingerido | 0,27 | 0,200 | 0,02 | 0,896 | -0,27 | 0,201 |
| N Fecal | 0,19 | 0,372 | 0,11 | 0,605 | -0,14 | 0,503 |
| N Digestível | 0,24 | 0,262 | -0,01 | 0,949 | -0,25 | 0,246 |
| N Urinário | 0,13 | 0,532 | -0,14 | 0,509 | -0,56 | 0,005 |
| N metabolizável | 0,04 | 0,835 | 0,09 | 0,647 | 0,22 | 0,302 |
| N met./ N dig. | 0,08 | 0,708 | 0,08 | 0,678 | 0,27 | 0,209 |
| NFU | 0,18 | 0,392 | -0,08 | 0,708 | -0,52 | 0,010 |
| Parâmetros respiratórios | | | | | | |
| VO ₂ (L/kg PV ^{0,75}) | 0,30 | 0,046 | -0,02 | 0,846 | -0,29 | 0,047 |
| VO ₂ (L/d) | 0,04 | 0,760 | 0,32 | 0,031 | -0,18 | 0,216 |
| VCO ₂ (L/kg PV ^{0,75}) | 0,33 | 0,026 | -0,11 | 0,436 | -0,42 | 0,003 |
| VCO ₂ (L/d) | 0,10 | 0,476 | 0,23 | 0,128 | 0,31 | 0,035 |
| VCH ₄ (L/kg PV ^{0,75}) | 0,32 | 0,030 | 0,01 | 0,948 | -0,20 | 0,163 |
| VCH ₄ (L/d) | 0,18 | 0,221 | 0,23 | 0,119 | -0,19 | 0,184 |
| CH ₄ / IMS (g/kg) | 0,11 | 0,472 | -0,11 | 0,436 | -0,15 | 0,293 |
| CH ₄ / IMO (g/kg) ¹ | 0,02 ^a | 0,884 | -0,23 | 0,127 | -0,20 | 0,181 |
| CH ₄ / IFDN (g/kg) | 0,12 | 0,412 | 0,14 | 0,357 | -0,16 | 0,286 |
| CH ₄ / DMS (g/kg) | 0,13 | 0,368 | 0,13 | 0,396 | -0,10 | 0,504 |
| CH ₄ / DMO (g/kg) | 0,07 | 0,616 | 0,05 | 0,720 | -0,13 | 0,376 |
| Metabólitos Sanguíneos e hormonais | | | | | | |
| Insulina (µIU/mL) | 0,43 | 0,065 | 0,28 | 0,231 | - 0,10 | 0,668 |
| Glicose (mmol/L) | -0,11 | 0,616 | 0,36 | 0,089 | 0,37 | 0,074 |
| Glicose:Insulina | -0,47 | 0,045 | - 0,98 | 0,681 | 0,30 | 0,208 |
| β-hydroxybutirato (mmol/L) | -0,17 | 0,478 | 0,03 | 0,865 | -0,14 | 0,507 |
| AGNE (mmol/L) | 0,13 | 0,630 | - 0,42 | 0,061 | - 0,34 | 0,142 |
| Termografia Infravermelha | | | | | | |
| Olho (max, °C) | -0,22 | 0,288 | -0,37 | 0,076 | -0,15 | 0,482 |
| Focinho (max, °C) | -0,02 | 0,913 | 0,01 | 0,957 | 0,06 | 0,789 |
| Vulva (max, °C) | -0,28 | 0,170 | 0,04 | 0,817 | 0,26 | 0,202 |
| Pata anterior direita (max, °C) | -0,20 | 0,344 | 0,02 | 0,902 | 0,37 | 0,067 |

^a = Correlação de Spearman. r = Valor da Correlação. P-valor= Probabilidade de significância.

V CONCLUSÃO

As diferenças de parâmetros produtivos, nutricionais, fisiológicos e metabólicos entre os grupos mais e menos eficientes variaram de acordo com o índice de EA adotado. A produção de calor é uma variável divergente entre os grupos mais e menos eficientes para CAR, GPR e ECA. Animais de alta eficiência para GPR e ECA emitiram menos CH₄ por kg de ganho de peso do que animais de baixa eficiência. Parâmetros sanguíneos e hormonais podem auxiliar na identificação de animais mais eficientes para CAR e ECA. Não foi observado relação entre EA e temperaturas obtidas por TIV em novilhas Girolando F1 criadas em condições tropicais.

VI CONSIDERAÇÕES GERAIS

Apesar da importância do Girolando para produção de leite em condições tropicais, este é o primeiro trabalho que evidencia as diferenças entre parâmetros produtivos, nutricionais, metabólicos, bioenergéticos e termográficos entre grupos divergentes para EA. Mais trabalhos devem ser realizados com animais de diferentes composições raciais e estádios fisiológicos e serão importantes para que características relacionadas à EA possam ser utilizadas em programas de melhoramento.

VII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHOLA, J.K.; SKOW, T.A.; HUNT, C.W.; HILL, R. A. Relationship between residual intake end product palatability in longimus sussteaks from steers sired by Angus divergente for intramuscular fat expected progeny difference. **The Professional Animal Scientist**, Champaign, v.27, p.109-115, 2011.

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

ALVES, E.M.; PEDREIRA, M.S.; MOREIRA, B.S.; FREIRE, L.D.R.; LIMA, T.R.; SANTOS-CRUZ, C. L. Carcass characteristics of sheep fed diets with slow-release urea replacing conventional urea. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 36, p. 303-310, 2014b.

ANDREWS, A.H.; BLOWEY, R.W.; BOYD, H.; EDDY, R.G. **Bovine Medicine: Diseases and Husbandry of Cattle**, v.2, 2004.

ARCHER, J.A, RICHARDSON, E.C.; HERD, R. M.; ARTHUR, P.F. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.50, p.147–61, 1999.

ARCHER, J.A.; REVERTER A.; HERD R.M.; JOHNSTON, D. J.; ARTHUR P.F. **Genetic variation in feed intake and efficiency of mature beef cows and relationship with postweaning measurements**.7th World Congress on Genetics Applied to Livestock production Montpellier, France, 2002.

ARMSBY, H.P. **The Nutrition of Farm Animals**. The Maemillan Company, New York, 1917.

ARNDT, C.; POWELL, J.M.; AGUERRE, M.J.; WATTIAUX, M.A. Performance, digestion, nitrogen balance, manure ammonia, enteric methane and carbon dioxide emissions of lactating cows fed varying dietary ratios of alfalfa silage and corn silage. **Journal of Dairy Science**; v.98, p.418–430, 2015.

ARTHUR, P.F.; HERD, R.M.; BASARAB, J.A. The role of cattle genetically efficient in feed utilization in an Australian carbon trading environment. **Australian Farm Business Management Journal**, v.7, p.5–14, 2010.

ARTHUR, P.F.; HERD, R.M.; WILKINS, J.F.; ARCHER, J. A. Maternal productivity of Angus cows divergently selected for post-weaning residual feed intake. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.45, p. 985-993, 2005.

ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A.; HERD, R.M.; RICHARDSON, E.C.; WRIGHT, J.H.; DIBLEY, K.C.P.; BURTON, D.A. Genotypic and phenotypic variation in feed intake, feed efficiency and growth rate in beef cattle. **Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics**, v.12, p.234–237, 1997.

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

ARTHUR, P.F.; HERD, R.M. Residual feed intake in beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, p.269-279, 2008.

ARTHUR, P.F.; RENAND, G.; KRAUSS, D. Genetic parameters for growth and feed efficiency in weaner versus yearling Charolais bulls. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.52, p.471-476, 2001b.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. 16th. Washington: AOAC, p. 2000, 1995.

AUBRY, A.; ANNETT R.; YAN, T. Effects of breed and forage types on methane emission factors for lowland replacement ewes aged between 8 and 19 months. **Advances in Animal Biosciences**, v.5, Part 1, p. 25, 2014b.

BAIRD, G.D., Primary Ketosis in the High-Producing Dairy Cow: Clinical and Subclinical Disorders, Treatment, Prevention, and Outlook. **Journal of Dairy Science**, v. 65, p.1-10, 1982.

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

BATISTA, E.O.S.; MACEDO, G.G.; SALA, R.V.; ORTOLAN, M.; SÁ FILHO, M. F.; DEL VALLE, T.A.; JESUS, E. F.; LOPES, R.; RENNÓ, F. P.; BARUSELLI, P. S. Plasma anti-mullerian hormone as a predictor of ovarian antral follicular population in *Bos indicus* (Nelore) and *Bos taurus* (Holstein) heifers. **Reproduction Domestic Animal**, v.49, p. 448-452, 2015.

BELL, M. J.; ECKARD, R. J.; HAILE-MARIAM, M.; PRYCE J. E. The effect of changing cow production and fitness traits on net income and greenhouse gas emissions from Australian dairy systems. **Journal of Dairy Science**, v.96, p.7918-7931, 2013.

BELL, M.J.; WALL, E.; RUSSEL, G. The effect of improving cow productivity, fertility, and longevity on the global warming potential of dairy systems. **Journal of Dairy Science**, v.94, p.3662-3678, 2011b.

BERMAN, A. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. **Journal of Animal Science**, v.83, p. 1377-1384, 2005.

BERRY, D. P.; CROWLEY J. J. Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.91, p.1594-1613, 2013.

BERCHIELLI, T.T.; VEGA GARCIA, A.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. 2.ed. Jaboticabal: Funep, p.565-600, 2011.

BOICHARD, D.; BROCHARD, M. New phenotypes for new breeding goals in dairy cattle. **The Animal Consortium**, v.6, p. 544-550, 2012.

BONIN, M.N.; DEMARCHI, J.J.A.A.; MIZUBUTI, I.Y.; RIBEIRO, E.L.A.; MANELLA, M.Q.; PEREIRA, E.S. Avaliação do consumo alimentar residual em touros jovens da raça Nelore em prova de desempenho animal. **Acta Scientiarum**, v.30, n. 4, p. 425-433, 2008.

BRICKNER, D.G.; CAJIGAS, I; FONDUFÉ-MITTENDORF, Y.; AHMED, S; LEE P.C.; WIDOM, J.; BRICKNER, J.H. Mediated localization of genes at the nuclear

periphery confers epigenetic memory of previous transcriptional state. **Plos Biology**, v.5, p.81, 2007.

BROSH, A. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: A review. **Journal of Animal Science**, v.85, p.1213-1227, 2007.

BROUWER, E. Report of sub-committee on constants and factors. In: Energy Metabolism of Farm Animals, London. **Proceedings... London: EAAPAcademic**. p. 441-443, 1965.

BROUWER, E. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. Proc 3rd Symp. **On Energy Metabolism**, v.11, p. 441 – 443, 1965.

BYERLY, T.C. **Feed and other costs of producing Market eggs**. College Park.Maryland. The University of Maryland Agric, 1941.

CAMPOS, P. M. **Relações do consumo alimentar residual e ganho residual com características de comportamento alimentar, termografia de infravermelho e características morfológicas e de desempenho de novilhas F1 Holandês x Gir**. ©2017. Dissertação em zootecnia na Universidade Federal de Minas Gerais.

CASPER, D.P.; MAIGA, H.A.; BROUK, M.J.; SCHINGOETHE, D.J. Synchronization of carbohydrate and protein sources on fermentation and passage rates in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.82, p. 1779– 1790, 1999.

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

CALSAMIGLIA, S., FERRET, A.; REYNOLDS, C.K.; KRISTENSEN, N.B.; VAN VUUREN, A.M. Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. **Journal of Animal Science**, v.4, p.1184–1196, 2010.

CELA, S.; QUIRINE, M.; KETTERINGS, K.; CZYMMEK, K.; SOBERON, M.; RASMUSSEN, C. Characterization of nitrogen, phosphorus, and potassium mass balances of dairy farms in New York State. **Journal of Dairy Science**, v.97, p.7614–7632, 2014.

CHAVES, A.S.; NASCIMENTO, M. L.; TULLIO, R.R.; ROSA, A.N.; ALENCAR, M.M.; LANNA, D.P. Relationship of efficiency indices with performance, heart rate, oxygen consumption, blood parameters, and estimated heat production in Nellore steers. **Journal of Animal Science**, v. 93, p. 5036-5046, 2015.

CHAVES, A.S. **Relações entre eficiência alimentar e características de carcaça, qualidade de carne, batimentos cardíacos e consumo de oxigênio em bovinos**. 2013. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

CHOI, S., STAHL, D. E WHINSTON, A.B. **The Economics of Eletronic Commerce**. Indianapolis, MacMillian Technical Publishing, 1997.

CHWALIBOG, A. Physiological basis of heat production: The fire of life. **Research School of Nutrition and Physiology**, 2004.

COLEMAN, J.; BERRY, D.P.; PIERCE, K.M.; BRENNAN, A.; HORAN, B. Dry matter intake and feed efficiency profiles of 3 genotypes of Holstein-Friesian within

pasture-based systems of milk production. **Journal of Dairy Science**, v.93, p.4318–4331, 2010.

COLYN, J. J. **Relationship of Radiated Heat Loss Measured by Infrared Thermography to Residual Feed Intake in Beef Heifers**. 2013.111p. Doctoral dissertation, University of Alberta.

CONNOR, E.E.; HUTCHISON, J.L.; NORMAN, H.D.; OLSON, K.M.; VAN TASSELL, C. P.; LEITH, J. M.; BALDWIN, R. L. Use of residual feed intake in Holsteins during early lactation shows potential to improve feed efficiency through genetic selection. **Journal of Animal Science**, v.91, p. 3978–3988, 2013.

CROWLEY, J.J.; MCGEE, M.; KENNY, D.A.; CREWS JR, D.H.; EVANS, R. D.; BERRY, D. P. Phenotypic and genetic parameters for different measures of feed efficiency in different breeds of Irish performance-tested beef bulls. **Journal of Animal Science**, v.88, p.885–894, 2010.

CROWLEY, J.J.; MCGEE, M.; KENNY, D.A.; CREWS JR, D.H.; EVANS, R.D.; BERRY, D.P. Phenotypic and genetic parameters for different measures of feed efficiency in different breeds of Irish performance-tested beef bulls. **Journal of Animal Science**, v.88, p.885-894, 2012.

CUNNINGHAM, J.G. **Tratado de fisiologia veterinária**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p.579, 2004.

DAVIS, K.; DUFFY, C.; EISSENSTAT, D., SHI, Y.; BRANTLEY, S.; HE, Y.; KAYE, J.; KAYE, M.; LIN, H.; NEAL, A.; YU, X.; ZHANG, F. Model-data synthesis of the carbon and water cycles at very high resolution in complex topography. **AmeriFlux Annual Meeting**, p. 4-5, 2014.

DELFINO, J.G.; MATHISON, G.W. Effects of cold environment and intake level on the energetic efficiency of feedlot steers. **Journal of Animal Science**, v.69, p. 4577-4587, 1991.

DERNO, M.; ELSNER, H.G.; PAETOW, E.A.; SCHOLZE, H.; SCHWEIGEL, M. Technical note: A new facility for continuous respiration measurements in lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v. 92, p. 2804-2808, 2009.

DRACKLEY, J.K.; RICHARD, M.J.; BEITZ, D.C.; YOUNG, J.M. Metabolic changes in dairy cows with ketonemia in response to feed restriction and dietary 1,3-Butanediol. **Journal of Dairy Science**, v.75, p.1622- 1634, 1992.

DUFFIELD, T.F.; LISSEMORE, K.D.; MCBRIDE, B.W.; LESLIE, K.E. Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. **Journal of Dairy Science**, v.92, p.571- 580, 2009.

DURUNNA, O.N.; COLAZO, M.G.; AMBROSE, D. J.; MCCARTNEY, D.; BARON, V.S.; BASARAB, J.A. Evidence of residual feed intake reranking in crossbred replacement heifers. **Journal of Animal Science**, v.90, p.734–741, 2015.

DURUNNA, O.N.; WANG, Z.; BASARAB, J.A.; OKINE, E.K.; MOORE, S.S. Phenotypic and genetic relationships among feeding behavior traits, feed intake, and residual feed intake in steers fed grower and finisher diets. **Journal of Animal Science**, v.89, p.3401– 3409, 2011b.

ENJALBERT, F.; NICOT, M.C.; BAYOURTHE, C.; MONCOULON, R. Ketone Bodies in Milk and Blood of Dairy Cows: Relationship between concentrations and utilization for detection of subclinical ketosis. **Journal of Dairy Science**, v.84, p.583-589, 2001.

FERNANDES, S.R.; FREITAS, J.A.; SOUZA, D.F.; KOWALSKI, L.H.; DITTRICH, R.L.; JUNIOR, P.R.; SILVA, C.J.A. Lipidograma como ferramenta na avaliação do metabolismo energético em ruminantes. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.8, n.1, p.21-32, 2012.

FERNANDES, S.R. **Eficiência alimentar e suas relações com o perfil bioquímico sanguíneo, o padrão de seleção de dietas e as características de carcaça de touros Purunã em crescimento**. 2014.119p.Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias.

FERREIRA, A. L. **Exigências nutricionais de energia de bovinos machos f1 holandês x gir determinadas pelas metodologias de abates comparativos e respirometria calorimétrica**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais.

FERREL, C.L.; JENKINS, T.G. Body composition and energy utilization by steers of diverse genotypes fed a high-concentrate diet during the finishing period: Angus, Boran, Brahman, Hereford and Tuli Sires. **Journal of Animal Science**, v. 76, p. 647-657, 1998.

FITZHUGH, J.R.; TAYLOR, C.S.S.T. Genetic analysis of degree, of maturity. **Journal of Animal Science**, v.33, p.717-725, 1971.

FITZSIMONS, C.; KENNY, D.A.; DEIGHTON, M.H.; FAHEY, A.G.; MCGEE, M. Methane emissions, body composition, and rumen fermentation traits of beef heifers differing in residual feed intake. **Journal of Animal Science**, v.91, p.5789–5800, 2013.

FORD, F.A.; PARK, C.S. Nutritionally directed compensatory growth enhances heifer development and lactation potential. **Journal of Dairy Science**, v.84, p.1669-1678, 2001.

FOULADI-NASHTA, A.A.; CAMPBELL, K.H.S. Dissociation of oocyte nuclear and cytoplasmic maturation by the addition of insulin in cultured bovine antral follicles. **Reproduction**, v.131, p.449-460, 2006.

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

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

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

GONZALEZ, F.H.D.; BARCELLOS, J.; PATINO, H.O. **Perfil metabólico em ruminantes. Seu uso em nutrição e doenças nutricionais**. Porto Alegre: Editora UFRGS, p.106, 2000.

GREGORINI, P.; WAGHORN, G.C.; KUHN-SHERLOCK, B.; ROMERA, A.J.; MACDONALD, K.A. Short communication. Grazing pattern of dairy cows that were selected for divergent residual feed intake as calves. **Journal of Dairy Science**, v.98, p. 6486–6491, 2015.

GRION, A.L. **Parâmetros genéticos de medidas indicadoras de eficiência alimentar de bovinos de corte**. 2012, 89p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável) – Instituto de Zootecnia. Agência Paulista De Tecnologia Dos Agronegócios Instituto De Zootecnia.

GRION, A.L.; MERCADANTE, M.E.Z.; CYRILLO, J.N.S.G.; BONILHA, S.F.M.; MAGNANI, E.; BRANCO, R.H. Selection for feed efficiency traits and correlated genetic responses in feed intake and weight gain of Nellore cattle. **Journal of Animal Science**, v.92, p.955– 965, 2014.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: mecânica**, v.1. 8ª edição. Editora LTC, 2009.

HEGARTY, R.S.; GOOPY, J.P.; HERD, R.M.; MCCORKELL, B. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. **Journal of Animal Science**, v.85, p.1479–1486, 2007.

HERD, R.M.; ARTHUR, P.F.; BOTTEMA, C.D.K. **Lessons Learnt from 25 Years of Feed Efficiency Research in Australia**. Proceedings of 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, 2014.

HERD, R.M.; ODDY, V.H.; RICHARDSON, E.C. Biological basis for variation on residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.44, p.423–430, 2004.

HERD, R.M.; ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F. Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: Opportunity and challenges to application. **Journal of Animal Science**, v.81, p.E9-E17, 2003.

HERDT, T.H. Ruminant adaption to negative energy balance. Influences on the etiology of ketosis and fatty liver. **Veterinary Clinics of North America Food Animal Practice**, v.16, p.215-230, 2000.

HERDT, T.H. Fuel homeostasis in the ruminant. **Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice**, v.4, p.213-232, 1988.

HERRERA-SALDANA, R.; GOMEZ, A.R.; TORABI, M.; HUBER, J.T. Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial protein synthesis. **Journal of Dairy Science**, v.73, p.142-148, 1990.

HOTOVY, S. K.; JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E.; CARSTENS, G.E.; BOURDON, R. M.; JR SEIDEL, G. E. Variation among twin beef cattle in maintenance energy requirements. **Journal of Animal Science**, v.69, p.940-946, 1991.

HURNIK, J.F.; WEBSTER, A.B.; DEBOER, S. An investigation of skin temperature differentials in relation to estrus in dairy cattle using a thermal infrared scanning technique. **Journal Animal Science**, v.61, p.1095–1102, 1985.

HUTJENS, M.F. Changes in feeding dairy cows during the last 20 years and what's ahead. In: **Tri-State Dairy Nutrition Conference, Indiana**, EUA, 2011.

JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. Methane emissions from cattle. **Journal of Animal Science**, v.73, p.2483–2492, 1995.

JONES, F.M.; PHILLIPS, F.A.; NAYLOR, T.; MERCER, N.B. Methane emissions from grazing Angus beef cows selected for divergent residual feed intake. **Animal Feed Science and Technology**, v.166–167, p. 302–307, 2011.

KANEKO, J.J.; HARVEY, J.W.; BRUSS, M. Clinical biochemistry of domestic animals, **Gulf Professional Publishing**, 1997.

KELLNER, O. **The scientific feeding of animals**. McMillan Publishers. New York, 1909.

KELLY, A.K.; WATERS, S.M.; MCGEE, M.; FONSECA, R.G.; CARBERRY, C.; KENNY, D.A. RNA_m expression of genes regulating oxidative phosphorylation in the muscle of beef cattle divergently ranked on residual feed intake. **Physiological Genomics**, v.43, p. 12– 23, 2009.

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

KESSEL, L.; ANDRESEN, J.; ERNGAARD, D.; FLESNER, P.; TENDEL, B.; HJORTDAL, J. Individual variability in physiological adaptation to metabolic stress during early lactation in dairy cows kept under equal conditions. **Journal of Animal Science**, v.86, p.2903-2912, 2008.

KLEIBER, M. **The fire of life: an introduction to animal energetics**. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, p. 454, 1961.

KLEIBER, M. **The fire of life: an introduction to animal energetics**. New York: Robert E. Krieger Publishing Company, v.2, p.453, 1975.

KNAPP, A.R.; WANG, H.; PARTHUN, M.R. The yeast histone chaperone hif1p functions with RNA in nucleosome assembly. **Plos One** v.9, p.100299, 2014.

KNÍZKOVÁ, I.; KUNC, P.; GÜRDÍL, G.A.K.; PINAR, Y.; SELVÍ, K.C. Applications of infrared thermography in animal production. **Journal of Faculty of Agriculture**, v.22, p. 329–336, 2007.

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

KOLVER, E.S.; MULLER, L.D.; VARGA, G.A.; CASSIDY, T.W. Synchronization of ruminal degradation of supplemental carbohydrate with pasture nitrogen in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.81, p. 2017- 2018, 1998.

KORVE, S., Genetic aspects of feed intake and feed efficiency in dairy cattle: A review **Livestock Production Science**, v.20, p.1-13, 1988.

KOTRBA, R.; KNIZKOVA, I.; KUNC, P.; BARTOS, L. Comparison between the coat temperature of thelandand dairy cattle by infrared thermography. **Journal of Thermal Biology**, v.32, p.355–359, 2007.

LAGE, H. F. **Partição da energia e exigência de energia líquida para manutenção de novilhas Gir e F1 Holandês x Gir**. 2011, 78p. Dissertação apresentada ao Programa de

Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais.

LANNA, D.P.D.; FOX, D.G.; BOIN, C. Validation of the cornell net carbohydrate and protein system estimates of nutrient requirements of growing and lactating zebu germplasm in tropical conditions. **Journal of Animal Science**, v.72, p. 287, 1996.

LAWRENCE, P.; KENNY, D. A.; EARLEY, B.; CREWS, D. H.; MCGEE, M. Grass silage intake, rumen and blood variables, ultrasonic and body measurements, feeding behavior and activity in pregnant beef heifers differing in phenotypic residual feed intake. **Journal of Animal Science**, v.89, p. 3248–3261, 2011.

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de bioquímica**. São Paulo: Sarvier, v. 2, 1995.

LEME, P.R.; GOMES, R.C. Características de carcaça de novilhos Nelore com diferente consumo alimentar residual. In: Reunión Asociación Latinoamericana De Produccion Animal, Cuzco. **Anais ...Cuzco: ALPA**, 2007.

LIN, Z., MACLEOD, I.; PRYCE, J.E. Estimation of genetic parameters for residual feed intake and feeding behavior traits in dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, v.96, p.2654–2656, 2013.

LOBLEY, G.E. Control of the metabolic fate of amino acids in ruminants: a review. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3264–3275, 1992.

LU, Y.; VANDEHAAR, M. J.; SPURLOCK, D.M.; WEIGEL, K. A.; ARMENTANO, L. E.; STAPLES, C.R.; CONNOR, E.E.; WANG, Z.; BELLO, N.M.; TEMPELMAN, R.J. An alternative approach to modeling genetic merit of feed efficiency in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.98, p. 6535–6551, 2015.

LUCILA SOBRINHO, T.; BRANCO, R.H.; BONILHA, S.F.M.; **et al.** Residual feed intake and relationships with performance of Nelore cattle selected for post weaning weight. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.929-937, 2011.

MACDONALD, K.A.; PRYCE, J.E.; SPELMAN, R.J.; DAVIS, S.R.; WALES, W.J.; WAGHORN, G.C.; WILLIAMS, Y.J.; MARETT, L.C.; HAYES, B.J. Holstein-Friesian calves selected for divergence in residual feed intake during growth also exhibit divergence in residual feed intake in their first lactation. **Journal of Dairy Science**, v.97, p. 1427–1435, 2014.

MARTELLO, L. S.; SILVA, S. L.; GOMES, R.C.; CORTE, R.R.P.S.; LEME, P.R. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. **International Journal of Biometeorology**, 2015.

MCDONNELL, R. P.; HART, K. J.; BOLAND, T. M.; KELLY, A.K.; MCGEE, M., KENNY, D.A. 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. **Journal of Animal Science**, p.94, 2016.

MCMANUS, C.; TANURE, C.B.; PERIPOLLI, V.; SEIXAS, L.; FISCHER, V.; GABBI, A. M.; MENEGASSI, S.R.O.; STUMPF, M.T.; KOLLING, G.J.; KOLLING, D.; COSTA JR. J. B.G. Infrared thermography in animal production: An overview. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.123, p.10–16, 2016.

MEIGS, E. B. The Energy Requirements of Dairy Cows: Is net energy or metabolizable energy the more useful index for practical purposes. **Journal of Dairy Science**, v. 8, p. 523-536, 1925.

MERCADANTE, M.E.; CALIMAN, A.P.M.; CANESIN, R.C.; BONILHA, S.F.M.; BERNDT, A.; FRIGHETTO, R.T.S.; MAGNANI, E.; BRANCO, R.H. Relationship between residual feed intake and enteric methane emission in Nellore cattle, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.44, p.255-262, 2015.

MERTENS, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.80, p. 1463, 1997.

MERTENS, D.R. Analysis of fiber in feeds and its use in feed evaluation and ration formulation. In: simpósio internacional de ruminantes, Lavras: **Sociedade Brasileira de Zootecnia**, p.1-32, 1992.

MONTANHOLI, Y.R.; SWANSON, K.C.; MILLER, S.P.; PALME, R.; SCHENKEL, F.S. Relationships between residual feed intake and infrared thermography and glucocorticoid levels in feedlot steers from three different sire breeds. **Journal of Animal Science**, v.88, p.179, 2007.

MONTANHOLI, Y.R.; ODONGO, N.E.; SWANSON, K.C.; SCHENKEL, F.S.; MCBRIDE, B.W.; MILLER, S.P. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v.33, p. 469–475, 2008.

MONTANHOLI, Y.R.; SWANSON, K.C.; SCHENKEL, F.S.; MCBRIDE, B.W.; CALDWELL, T.R.; MILLER, S.P. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. **Livestock Science**, v.125, p.22–30, 2009.

MONTANHOLI, Y.R.; SWANSON, K.C.; SCHENKEL, F.S.; MCBRIDE, B.W.; CALDWELL, T.R.; MILLER, S.P. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. **Journal of Animal Science**. v.4, p.692. 2010.

MORAES, L.E.; KEBREAB, E.; STRATHE, A.B.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; CASPER, D.P.; FADEL, J.G. Multivariate and univariate analysis of energy balance data from lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.98, p.4012–4029, 2015.

NRC.1981. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. The effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. **National Academic Press**, Washington, D.C.

NRC.1984. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. The effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. **National Academic Press**, Washington, D.C.

NRC. 2000. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of beef cattle. 7th ed. **National Academic Press**, Washington, DC.

NRC. 2001. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. **National Academic Press**, Washington, D.C., p.380, 2001.

NÄÄS, I.A.; GARCIA, R.G.; CALDARA, F.R. Infrared thermal image for assessing animal health and welfare. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v.2, p.66–72, 2014.

NASCIMENTO, C.F.; BRANCO, R.H.; BONILHA, S.F.M.; CYRILLO, J.N.S.G.; NEGRÃO, J.A., MERCADANTE, M.E.Z. Residual feed intake and blood variables in young Nellore cattle, **Journal of Animal Science**, v.93, p. 1318–1326, 2015.

NASCIMENTO, M.L. **Eficiência Alimentar e suas Associações com o lucro, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos nelore**. 2011. Tese (Ciência Animal e Pastagens) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

NIELSEN, N.I.; FRIGGENS, N.C.; CHAGUNDA, M.G.G.; INGVARSEN, K.L. Predicting risk of ketosis in dairy cows using in-line measurements of β -hydroxybutyrate: A biological model. **Journal of Dairy Science**, v.88, p.2441–2453, 2005.

NKRUMAH, F.; KLUTSE, N.A.B.; ADUKPO, D.C.; OWUSU, K.; QUAGRAINE, K.; OWUSU, A.; GUTOWSKI, W. Rainfall variability over ghana: model versus rain gauge observation, **International Journal of Geosciences**, v.5, p. 673-683, 2014.

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

NKRUMAN, J.D.; SHERMAN, E.L.; LI, C.; et al. Primary genome scan to identify putative quantitative trait loci for feedlot growth rate, feed intake, and feed efficiency of beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 85, p. 3170-3181, 2007.

OETZEL, G.R. Application of forage particle length determination in dairy practice. **Compendium on Continuing Education for the Practising Veterinarian**. v.23, p.S30–S38, 2001.

OKINE, E.K.; BASARAB, J.A.; GOONEWARDENE, L.A.; MIR, P. Residual feed intake: what is it and how does it differ from traditional concepts of feed efficiency. Saskatoon: **Canadian Society of Animal Science**, p.1-15, 2003.

OLIVEIRA, R. V.; TILBURG, M.F.V.; SANTOS, R.Q.; MORENO, F.B.; MONTEIRO-MOREIRA, A.C.O.; MOURA, A. Effects of cashew nut meal on ram sperm proteins. **Acta Veterinaria Brasilica**. v.8, p.246-247, 2014.

OLIVEIRA, D. P., SONOHATA, M. M.; ROSSI, R. M.; ABREU, U.G.P. Modelagem Bayesiana em curvas de crescimento em bovinos de corte: Pantanal Sul - Mato - Grossense, sub - região de Aquidauana. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO ANIMAL, **Anais...**Uberaba, MG, 2013.

OLIVIERI, B.F.; MERCADANTE, M.E.Z.; CYRILLO, J.N.D.S.G.; BRANCO, R.H.; BONILHA, S.F.M.; ALBUQUERQUE, L.G. Genomic Regions Associated with Feed Efficiency Indicator Traits in an Experimental Nellore Cattle Population. **Plos One**, v.11, p.390, 2016.

OSPINA, P.A.; NYDAM, D.V.; STOKOL, T.; OVERTON, T.R. Associations of elevated nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate concentrations with early lactation reproductive performance and milk production in transition dairy cattle in the northeastern United States. **Journal of Dairy Science**, v.93, p.1596–1603, 2010.

OVERTON, T.R.; WALDRON, M.R. Nutritional management of transition dairy cows: strategies to optimize metabolic health, **Journal of Dairy Science**, v.87, p.E105–E119, 2004.

PADDOCK, Z. D. **Energy expenditure in growing heifers with divergent residual feed intake phenotypes. Effects and interactions of metaphylactic treatment and temperament on receiving steers.** 2010. Tese de Doutorado. Texas A&M University.

PAULINO, M.F.; MORAES, E.H.B.K.; ZERVOUDAKIS, J.T.; ALEXANDRINO, E.; FIGUEIREDO, D.M. Fontes de energia em suplementos múltiplos de auto-regulação de consumo na recria de novilhos mestiços em pastagens de *Brachiaria decumbens* durante o período das águas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.3, p.957-962, 2005.

PAULINO, M.F.; DETMANN, E.; VALENTE, E.E.L. **Nutrição de bovinos em pastejo.** In: simpósio sobre manejo estratégico da pastagem, v.4, p.131-169, 2008.

PEREIRA, L.G.R.; MACHADO, F.S.; CAMPOS, M.M.; JUNIOR, R.G.; TOMICH, T.R.; REIS, L.G.; COOMBS, C. Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v.28, p. 124-143, 2015.

PESSOA, R.A.; LEÃO, M.I.; FERREIRA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R. F. D.; QUEIROZ, A.C. Balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana em novilhas leiteiras alimentadas com palma forrageira, bagaço de cana-de açúcar e uréia associados a diferentes suplementos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.941-947, 2009.

PRYCE, J.E.; ARIAS, J.; BOWMAN, P.J.; DAVIS, S.R.; MACDONALD, K.A.; WAGHORN, G.C.; WALES, W.J.; WILLIAMS, Y.J.; SPELMAN, R.J.; HAYES, B.J. Accuracy of genomic predictions of residual feed intake and 250 day bodyweight in growing heifers using 625,000 SNP markers. **Journal of Dairy Science**, v.95, p. 2108–2119, 2012.

PRYCE, J.E.; WALES, W.J.; HASS, Y.; VEERKAMP, R.F.; HAYES, B.J. Genomic selection for feed efficiency in dairy cattle. **Animal**, v.8, p.1–10, 2014.

RADOSTITS, O.M.; ARUNDEL, J.H.; GAY, C.C. Veterinary medicine, **Elsevier Health Sciences**, 2000.

REIS, S.F.; FAUSTO, D.A.; MEDEIROS, S.R.; PAULINO, P.V.R.; VALADARES FILHO, S.C.; TORRES JUNIOR, R.A. A. Eficiência alimentar e qualidade da carne de novilhas de corte cruzadas classificadas através do consumo alimentar residual. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, v.16, p.632-642, 2015.

REIST, M.; ERDIN, D.K.; VONEUW, D.; TSCHÜMPERLIN, K.M.; LEUENBERGER, H.; DELAVAUD, C.; CHILLIARD, Y.; HAMMON, H.M.; KUENZLI, N.; BLUM, J. Concentrate feeding strategy in lactating dairy cows: metabolic and endocrine changes with emphasis on leptin. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, p. 16901706, 2003.

REKANT, S.I.; LYONS, M.A.; PACHECO, J.M.; ARZT, J.; RODRIGUEZ, L.L. Veterinary applications of infrared thermography. **America Journal of Veterinary Research**, v. 77, p. 98-107, 2016.

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

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. Synthesis of results following divergent selection. Cooperative Research Centre for Cattle and Beef Quality. Aust. **Journal of Experimental Agriculture**, v.44, p.431–440, 2004.

RIUS, A.G.; KITTELMANN, S.; MACDONALD, K.A.; WAGHORN, G.C.; JANSSEN, P. H.; SIKKEMA, E. Nitrogen metabolism and rumen microbial enumeration in lactating cows with divergent residual feed intake fed high-digestibility pasture. **Journal of Dairy Science**, v.95, p. 5024–5034, 2012.

ROBERTO, J.V.B.; SOUZA, B.B.; DELFINO, L.J.B.; MARQUES, B.B. Thermal gradients and physiological responses of goats in the Brazilian semi-arid using thermography infrared. **Journal of Animal Science**, 2014.

ROCHE, J. R.; MCDONALD, K.A.; BURKE, C.R.; LEE, J.M.; BERRY D.P. Association among body condition score, body weight and reproductive performance in seasonal-calving dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.90, 376-391, 2007.

ROLFE, K.M.; SNELLING, W.M.; NIELSEN, M.K.; FERREL, C.L.; JENKINS, T.G. Genetic and phenotypic parameter estimates for feed intake and other traits in growing beef cattle. **Nebraska Beef Cattle Reports**, 2010.

SAAMA, P.M.; MAO, I.L. Energy intake and gross efficiency comparisons from calorimetric and field data on some lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v.78, p. 1945–1953, 1995.

SANTANA, M.H.A.; ROSSI JUNIOR, P.; ALMEIDA, R.; SCHUNTZEMBERGER, M.A.S. Blood cell and metabolic profile of Nellore bulls and their correlations with residual feed intake and feed conversion ratio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.14, p. 527-537, 2014.

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

SCHAEFER, A.L.; BASARAB, J.; SCOTT, S.; COLYN, J.; MCCARTNEY, D.; MCKINNON, J.; OKINE, E.; TONG, A.K.W. The relationship between infrared thermography and residual feed intake in cows. **Journal of Animal Science**, v.83, p. 263, 2005.

SILVA, L.P. **Boas práticas de manejo de bezerras leiteiras na fase de cria e potenciais efeitos na recria**. 2015. 50p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.

- SILVA, J.F.C.; LEÃO, M.I. **Fundamentos de nutrição dos ruminantes**. Piracicaba: Livrocere, p.380, 1979.
- SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; OGLE, S.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLE, B.; SIROTKO, O.; HOWDEN, M.; MCALLISTER, T.; PAN, G.; ROMANENKOV, V.; SCHNEIDER, U.; TOWPRAYOON, S.; WATTENBACH, M.; SMITH, J. Biological Sciences. **Greenhouse gas mitigation in agriculture**, v. 363, p. 789–813, 2008.
- SOERENSEN, D.D.; PEDERSEN, L.J. Infrared skin temperature measurements for monitoring health in pigs: a review. **Acta Veterinaria Scandinavica**, v. 57, p. 1–11, 2015.
- SOUZA, A.R.D.L. **Relações entre eficiência alimentar, características de carcaça e qualidade de carne de novilhos Nelore confinados**. 2012. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo.
- STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, V.; CASTEL, M.; ROSALES M.; HAAN C. D. Livestock's Long Shadow: **Environmental Issues and Options**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2006.
- STELLETTA, C.; GIANESELLA, M.; VENCATO, J.; FIORE, E.; MORGANTE, E. **Thermographic applications in veterinary medicine**. In: Prakash, R.V. (Ed.), *Infrared Thermography*. InTech, China, p.117–140, 2012.
- SWANSON, K.C.; MILLER, S.P. **Factors regulating feed efficiency and nutrient utilization in beef cattle**. In: France, J., Kebreab, E. (Eds.), *Mathematical Modelling in Animal Nutrition*. Centre for Biosciences and Agriculture International, Wallingford, UK, p.419–444, 2008.
- TIZIOTO, P. C.; COUTINHO, L.L.; DECKER, J.E.; SCHNABEL, R.D.; ROSA, K.O.; OLIVEIRA, P.S.N.; SOUZA, M. M.; MOURÃO, G.B.; TULLIO, R.R.; CHAVES, A.S.; LANNA, D.P.D.; ZERLOTINI-NETO, A.; MUDADU, M.A.; TAYLOR, J.F.; REGITANO, L.C.A. Global liver gene expression differences in Nelore steers with divergent residual feed intake phenotypes. **BMC Genomics**, v.16, p. 242, 2015.
- VALADARES, R.F.D.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M.; FILHO, S.C.V.; SAMPAIO, I.V. Níveis de proteína em dietas de bovinos. 4. Concentrações de amônia ruminal e uréia plasmática e excreções de uréia e creatinina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.6, p.1270-1278, 1997.
- VALLIMONT, J.E.; DECHOW, C.D.; DAUBERT, J.M.; DEKLEVA, M.W.; BLUM, J.W.; LIU, W.; VARGA, G.A.; HEINRICH, A.J.; BAUMRUCKER, C.R. Short communication: Heritability of gross feed efficiency and associations with yield, intake, residual intake, body weight, and body condition score in 11 commercial Pennsylvania tie stalls. **Journal of Dairy Science**, v.94, p.2108–2113, 2011.
- VAN SAUN, R. **Blood profiles as indicators of nutritional status**. Corvallis, Oregon: Department of Large Animal Clinical Sciences, 2000.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, p.476, 1994.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B., LEWIS, B.A. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.

VANDEHAAR, M.J.; ST-PIERRE, N. Major advances in nutrition: Relevance to the sustainability of the dairy industry. **Journal of Dairy Science**, v.89, n.4, p.1280-1291, 2006.

VANDEHAAR, M.J.; ARMENTANO, L.E.; WEIGEL, K.; SPURLOCK, D.M.; TEMPELMAN, R.J.; VEERKAMP, R. Harnessing the genetics of the modern dairy cow to continue improvements in feed efficiency. **Journal of Dairy Science**, v.99, p.4941-4954, 2016.

VANHOLDER, T.G.O.; KRUIF A.A.R.T. Aetiology and pathogenesis of cystic ovarian follicles in dairy cattle: a review, **Reproduction Nutrition Development**, v.46, p. 105-119, 2006.

VOLP, A.C.P.; ALFENAS, R.C.G; COSTA, N.M.B; MINIM, V.P.R.; STRINGUETA, P. C.; BRESSAN, J. Capacidade dos biomarcadores inflamatórios em predizer a síndrome metabólica. **Arquivos Brasileiro Endocrinologia e Metabologia**. v. 11, n.80, p. 24-30, 2008.

WAGHORN, G.C.; MACDONALD. K.A.; WILLIAMS, Y.; DAVIS, S.R.; SPELMAN, R.J. Measuring residual feed intake in dairy heifers fed an alfalfa (Medicago sativa) cube diet. **Journal of Dairy Science**, v. 95, p. 1462–1471, 2012.

WAGHORN, G.C.; HEGARTY, R.S. Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. **Animal Feed Science and Technology**, v.166, p. 291–301, 2011.

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

WELCH, C.M.; AHOLA, J.K.; HALL, J.B.; MURDOCH, G.K.; CREWS JUNIOR, D.H.; DAVIS, L.C.; DOUMIT, M.E.; PRICE, W.J.; KEENAN, L.D.; HILL, R.A. Relationships among performance, residual feed intake, and product quality progeny from Red Angus sires divergent for maintenance energy EPD. **Journal of Animal Science**, v.77, n.2, p.400-407, 2012.

WILLIAMS, Y. J.; PRYCE, J. E.; GRAINGER, C.; WALES, W. J.; LINDEN, N.; PORKER, M.; HAYES, B.J. Variation in residual feed intake in Holstein Friesian dairy heifers in Southern Australia. **Journal of Dairy Science**, v. 94, p. 4715–4725, 2011.

YAN, T.; MAYNE, C.S.; GORDON, F.G. Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.93, p.2630-2638, 2010.

ZAMANI, P.; MIRAEI-ASHTIANI, S.R.; MOHAMMADI, H. Genetic parameters of residual energy intake and its correlations with other traits in Holstein dairy cattle. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v. 32, p. 255–261, 2008.

ZORZI, K.; BONILHA, S.F.M.; QUEIROZ, A.C.; BRANCO, R.H.; SOBRINHO, T.L.; DUARTE, M.S. Meat quality of young Nellore bulls with low and high residual feed intake, **Meat Science**, v.93, p.593–599, 2013.