

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ**

**CARINA ANUNCIÇÃO DOS SANTOS DIAS**

**METABOLISMO, EXIGÊNCIAS DE ENERGIA E EMISSÃO DE METANO  
ENTÉRICO EM VACAS GIROLANDO NO TERÇO INICIAL DA LACTAÇÃO**

**ILHÉUS – BAHIA  
2018**

**CARINA ANUNCIÇÃO DOS SANTOS DIAS**

**METABOLISMO, EXIGÊNCIAS DE ENERGIA E EMISSÃO DE METANO  
ENTÉRICO EM VACAS GIROLANDO NO TERÇO INICIAL DA LACTAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Santa Cruz, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Ciência Animal.

Área de concentração: Ciência Animal

Orientador: Prof. Dr. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira

Coorientadores: Dr<sup>a</sup>. Fernanda Samarini Machado

Dr. Thierry Ribeiro Tomich

**ILHÉUS – BAHIA  
2018**

**CARINA ANUNCIÇÃO DOS SANTOS DIAS****METABOLISMO, EXIGÊNCIAS DE ENERGIA E EMISSÃO DE METANO  
ENTÉRICO EM VACAS GIROLANDO NO TERÇO INICIAL DA LACTAÇÃO**

Ilhéus – BA, 23/02/2018

---

Luiz Gustavo Ribeiro Pereira – Dr.  
Embrapa Gado de Leite  
(Orientador)

---

João Paulo Pacheco Rodrigues – Dr.  
Universidade Federal de Viçosa

---

Fernanda Samarini Machado – Dr.<sup>a</sup>  
Embrapa Gado de Leite

---

Alexandre Lima Ferreira – Dr.  
Embrapa Gado de Leite

---

Thierry Ribeiro Tomich – Dr.  
Embrapa Gado de Leite

**ILHÉUS – BAHIA  
2018**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Deus, minha essência e fortaleza.

À minha base familiar: meus pais (Carlos e Lourdes) e minhas irmãs (Carla e Carine).

## AGRADECIMENTOS

*À Deus, pelo milagre da vida e por estar sempre comigo me capacitando e dando força para continuar.*

*Aos meus pais pelo amor incondicional, incentivo, confiança e pelos princípios ensinados que fizeram diferença durante essa trajetória.*

*À Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal pela oportunidade de realização do Curso.*

*À Embrapa Gado de Leite pela oportunidade de desenvolver a pesquisa, pela concessão dos animais e por todo apoio concedido.*

*À Fundação CAPES pela concessão da bolsa de estudos.*

*Ao meu orientador, Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, pela oportunidade, paciência, dedicação e por todos os ensinamentos compartilhados. Sou muito grata à sua família pelo acolhimento, amizade, carinho e confiança que demonstraram por mim.*

*Ao Dr. Alexandre Lima Ferreira, por todo apoio, por estar presente em todas as fases dessa pesquisa, sempre disposto a ajudar com presteza e excelência. Sou grata por todas as contribuições, amizade e confiança.*

*Aos Co-orientadores: Dra. Fernanda Samarini Machado e Dr. Thierry Ribeiro Tomich pelo apoio na realização do experimento, pela paciência e por serem sempre receptivos e atenciosos, estando sempre dispostos a ajudar de alguma forma, contribuindo de forma excepcional na realização do trabalho.*

*Aos pesquisadores Dra. Mariana Magalhães e Claudio Paiva por todo auxílio e orientações durante a fase experimental.*

*A todos os estagiários da Residência Zootécnica que contribuíram na realização dessa pesquisa com muito empenho e dedicação.*

*Aos funcionários da Embrapa Gado de Leite: Geovane, S. Geraldino, Amarildo, S. Zé, Mengo, Betinho, S. Chico, Verônica, Luiz, Luiz do Carmo, José Magno, Dódó, Marieta, Meirinha, Del, Ernando, Binha, S. Moreira, Evandro, S. Wilsom; por toda contribuição no desenvolvimento das atividades práticas e principalmente pela amizade que construímos durante essa caminhada.*

*A todos os funcionários da Embrapa Gado de Leite que de alguma forma contribuíram na execução do experimento.*

*Aos companheiros de execução de experimento: Fagner, João Paulo e Carol, por todo auxílio e convivência.*

*À Geovane, Raquel, Marina, Vanessa pela amizade e companheirismo e a todos os amigos que conquistei ao longo dessa trajetória.*

*Aos colegas de Alojamento que tornaram os dias mais leves.*

*Às amigas que conquistei durante a vida acadêmica: Lígia, Daiane, Kaly, Aninha. Vocês são muito importantes para mim.*

*A todos os meus professores e orientadores de graduação e pós-graduação que contribuíram para minha formação profissional.*

***Ainda que a minha mente e o meu corpo enfraqueçam,  
Deus é a minha força, Ele é tudo o que sempre preciso.***

***Salmos 73.26***

## METABOLISMO, EXIGÊNCIAS DE ENERGIA E EMISSÃO DE METANO ENTÉRICO EM VACAS GIROLANDO NO TERÇO INICIAL DA LACTAÇÃO

### RESUMO

Objetivou-se avaliar o desempenho, os parâmetros metabólicos, a digestibilidade, a produção de metano e a partição de nitrogênio e energia de vacas Girolando (3/4 Holandês x 1/4 Gir) primíparas e multíparas recebendo dois níveis de alimentação no terço inicial da lactação. Vinte e seis fêmeas leiteiras, 14 primíparas e 12 multíparas, foram distribuídas em delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 2 (ordem de lactação: Primíparas x Multíparas) x (nível de alimentação: *Ad libitum* x Restrito). O fornecimento *ad libitum* foi ajustado para propiciar 10% de sobras. Já o consumo restrito, foi ajustado para atender a 80% e 85% das exigências de energia líquida para manutenção e lactação segundo o NRC (2001) para multíparas e primíparas, respectivamente. Os animais receberam dieta total a base de silagem de milho, feno de Tifton 85 e concentrado. O consumo de matéria seca (CMS) e demais nutrientes foi superior para os animais do tratamento *ad libitum* em relação ao restrito e não foi afetado pela ordem de lactação. A produção de leite diária e a produção corrigida para 4% de gordura, assim como a eficiência de conversão alimentar foram superiores para as multíparas. Os animais em consumo restrito apresentaram maior eficiência de conversão alimentar e eficiência alimentar para lactação. Não houve efeito da OL e níveis de alimentação na digestibilidade da MS e frações nutricionais. O balanço de nitrogênio (g/dia) não foi afetado pela OL. A quantidade total de nitrogênio excretado (481 g/dia vs. 379 g/dia) e o nitrogênio retido (111 g/dia vs. 36 g/dia) foram maiores para as vacas do tratamento *ad libitum*. A produção de CH<sub>4</sub> (g/dia) foi 32,6% maior para os animais em consumo *ad libitum* e semelhante entre as primíparas e multíparas. Os animais em restrição alimentar apresentaram menor disponibilidade de energia metabolizável (EM, MJ/dia) em relação aos de consumo *ad libitum* (145 vs. 211 MJ/dia). Os animais do tratamento *ad libitum* apresentaram maior produção de calor (114 MJ/dia vs. 89,6 MJ/dia) e retiveram mais energia em relação aos animais do tratamento restrito (22,8 MJ/dia vs. -8,92 MJ/dia). A exigência de energia metabolizável de manutenção, energia líquida de manutenção e a eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação (*kl*) foram iguais a 0,55 MJ/kg PV<sup>0,75</sup>, 0,35 MJ/kg PV<sup>0,75</sup> e 0,64, respectivamente, segundo a metodologia de cálculo do NRC (2001). A restrição

alimentar não afetou a produção de leite, mas elevou a concentração de AGNE no plasma. As multíparas apresentaram maior produção, com melhor conversão alimentar. Animais com maior consumo de matéria seca emitem mais  $\text{CH}_4$  entérico. O NA e OL afetou o balanço energético dos animais e as exigências energéticas encontradas para vacas Girolando no terço inicial da lactação são próximas as recomendadas pelo NRC.

**Palavras-chave:** Gado de Leite. Metano entérico. Nitrogênio. Partição de energia. Respirometria.



## **METABOLISM, ENERGY REQUIREMENTS AND ENTRY METHANE EMISSION IN COWS SPINNING IN THE INITIAL LACTATION THIRD**

### **ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate performance, metabolic parameters, digestibility, methane production and nitrogen and energy partitioning in primiparous and multiparous Girolando (3/4 Holandês x 1/4 Gir) cows receiving two feeding levels in the initial third of lactation. Twenty-six dairy females, 14 primiparous and 12 multiparous females were distributed in a completely randomized experimental design in a 2 x 2 factorial scheme, referring to the order of lactation (Primiparas x multiparous) and feeding level (Ad libitum x Restricted). The ad libitum supply was adjusted to provide 10% of leftovers. On the other hand, restricted consumption was adjusted to meet 80% and 85% of net energy requirements for maintenance and lactation according to NRC (2001) for multiparous and primiparous, respectively. Feeding of the animals consisted of a total diet, similar for all treatments, based on corn silage, Tifton 85 hay and concentrate. The dry matter intake (DMI) and other nutrients were higher for the animals treated with ad libitum than the restricted one and were not affected by the order of lactation. Daily and corrected milk production, as well as feed conversion efficiency, were higher for multiparous. The animals in restricted consumption showed higher feed conversion efficiency and feed efficiency for lactation. There was no effect of OL and feed levels on DM digestibility and nutritional fractions. Nitrogen balance (g / day) was not affected by OL. The total amount of nitrogen excreted (481 g / day vs 379 g / day) and retained nitrogen (111 g / day vs 36 g / day) were higher for the ad libitum treatment cows. Production of CH<sub>4</sub> (g / day) was 32.6% higher for animals in ad libitum and similar among primiparous and multiparous animals. The animals under feed restriction presented lower availability of metabolizable energy (ME, MJ / day) than those consumed ad libitum, and the means found were equivalent to 145 MJ / day and 211 MJ / day, respectively. The animals treated with ad libitum showed higher CP (114 MJ / day vs 89.6 MJ / day) and retained more energy than the restricted treatment animals (22.8 MJ / day vs -8.92 MJ / day). The metabolizable energy requirement for maintenance, net maintenance energy and the efficiency of use of the metabolizable energy for lactation (*kl*) were 0.55 MJ/kg PV<sup>0.75</sup>, 0.35 MJ/kg PV<sup>0.75</sup> and 0.64, respectively, according to the calculation methodology of the NRC (2001). Feed

restriction did not affect milk production, but increased the concentration of NEFA in plasma. The multiparous presented higher production, with better feed conversion. Animals with higher intakes of dry matter emit more enteric CH<sub>4</sub>. NA and OL affected the energy balance of the animals and the energy requirements found for Girolando cows in early lactation are in accordance with the NRC.

**Keywords:** Dairy cows. Energy partition. Enteric methane. Respirometry.

**LISTA DE FIGURA**

| Gráfico  | Página |
|--|--------|
| 1. Exigências de energia metabolizável para manutenção (EMm), energia líquida para manutenção (ELm) e eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação (kl) obtidas para vacas Girolando no terço inicial da lactação | 79     |

**LISTA DE TABELAS**

| Tabela   | Página |
|--|--------|
| 1. Valores de referência de metabólitos sanguíneos   | 24     |
| 2. Formulação e composição química da dieta experimental   | 71     |
| 3. Consumos médios diários de matéria seca e das frações nutricionais (kg MS/dia), peso vivo médio e ganho de peso médio diário em vacas primíparas e multíparas no terço inicial da lactação, submetidas a dois níveis de alimentação   | 72     |
| 4. Produção de leite diária, produção de leite corrigida para gordura, produção de leite corrigida para energia, composição do leite, eficiência de conversão alimentar, e eficiência alimentar para lactação de vacas Girolando, primíparas e multíparas, no terço inicial da lactação, submetidas a dois níveis de alimentação | 73     |
| 5. Digestibilidade da matéria seca e das frações nutricionais em vacas Girolando no terço inicial da lactação, submetidas a dois níveis de alimentação   | 74     |
| 6. Partição de nitrogênio (N) em vacas Girolando no terço inicial da lactação, submetidas a dois níveis de alimentação   | 75     |
| 7. Concentrações dos parâmetros sanguíneos de vacas Girolando, primíparas e multíparas no terço inicial da lactação, submetidas a dois níveis de alimentação   | 76     |
| 8. Emissão de metano em vacas Girolando, primíparas e multíparas, no terço inicial da lactação, submetidas a dois níveis de alimentação.   | 77     |

9. Partição de energia de vacas Girolando, primíparas e múltíparas, no terço inicial da lactação, submetidas a dois níveis de alimentação. 78

## SUMÁRIO

|  | Pag. |
|--|------|
| <b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>  | 16   |
| <b>2. OBJETIVOS.....</b>   | 18   |
| 2.1. Geral.....  | 18   |
| <b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>   | 19   |
| 3.1. Importância da produção de leite em países de clima tropical.....   | 19   |
| 3.2. O gado Girolando e a produção de leite.....   | 20   |
| 3.3. Partição de nitrogênio.....   | 21   |
| 3.4. Metabolismo energético.....   | 22   |
| 3.4.1. <i>Parâmetros sanguíneos</i> .....  | 23   |
| 3.4.2. <i>Calorimetria indireta</i> .....  | 25   |
| 3.4.3. <i>Emissão de metano (CH<sub>4</sub>) entérico</i> .....  | 26   |
| 3.4.4. <i>Partição de energia e exigências energéticas</i> .....   | 27   |
| <b>4. ARTIGO CIENTÍFICO.....</b>   | 30   |
| Metabolismo, Uso da energia, partição de nitrogênio e produção de metano entérico em vacas Girolando no terço inicial da lactação..... | 30   |
| 4.1. ABSTRACT.....   | 32   |
| 4.2. INTRODUÇÃO.....   | 33   |
| 4.3. MATERIAL E MÉTODOS.....   | 35   |
| 4.4. RESULTADOS.....   | 44   |
| 4.5. DISCUSSÃO.....  | 50   |
| 4.6. CONCLUSÕES.....   | 62   |
| 4.7. REFERÊNCIAS.....  | 63   |
| 4.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....   | 80   |
| 4.9. REFERÊNCIAS.....  | 81   |

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Com o crescimento populacional haverá maior demanda por alimentos, sendo necessário o uso de tecnologias adequadas, a fim de proporcionar aumento da produtividade na pecuária leiteira. Laurance et al. (2013) afirmaram que nas próximas décadas, o aumento da produção de alimentos será um desafio para agricultura, principalmente nos países de clima tropical, em que há crescimento e produção de diversas culturas, e a terra é menos dispendiosa em comparação aos países de clima temperado.

A adoção de animais adaptados às condições climáticas, bem como o uso racional dos recursos naturais pode melhorar a eficiência dos sistemas de produção, manter a competitividade e qualidade dos produtos lácteos. Segundo Canaza-Cayo et al. (2016) a indústria de laticínios contribui de forma significativa para o agronegócio brasileiro, sendo grande parte do leite produzido proveniente de animais Girolando, os quais possuem excelente desempenho produtivo nos diversos sistemas de produção em ambientes tropicais. Pereira et al. (2013) afirmaram que a raça Gir se destaca pela resistência a endo e ectoparasita e adaptação a altas temperaturas. Com o objetivo de aliar alta capacidade de produção de leite e rusticidade, foi desenvolvida a raça Girolando a partir de cruzamentos entre a raça Holandês e Gir, passando por variadas composições raciais, desde  $1/4$  Holandês +  $3/4$  Gir até  $7/8$  Holandês +  $1/8$  Gir (Embrapa, 2017).

Estudos sobre desempenho produtivo de animais cruzados têm evidenciado a eficiência dos animais  $3/4$  Holândes x  $1/4$  Gir para produzir leite em condições de clima tropical, sendo um dos fenótipos mais importantes para a produção de leite no Brasil. Brasil et al. (2015) ao avaliarem a composição e a produção de leite de três grupos raciais (Holandês;  $3/4$  Holândes x  $1/4$  Gir;  $1/4$  Holandês x  $3/4$  Jersey), observaram que os animais  $3/4$  Holandês x  $1/4$  Gir apresentaram maior desempenho produtivo e menor teor de gordura no leite. Já, Melo et al. (2015) ao avaliarem vacas primíparas de três composições genéticas do Girolando ( $1/2$  Holandês x  $1/2$  Gir;  $3/4$  Holândes x  $1/4$  Gir e  $7/8$  Holandês x  $1/8$  Gir), não observaram diferenças para os constituintes do leite, e os animais  $3/4$  Holandês x  $1/4$  Gir foram mais produtivos.

Diante do potencial produtivo desses animais, Oss et al. (2017) destacaram a importância de pesquisas focadas em exigências nutricionais envolvendo raças e condições de alimentação representativas de países ou regiões com destaque na produção pecuária, como Brasil.

Oliveira (2015) reportou diferenças nas exigências energéticas entre vacas leiteiras *Bos taurus* e mestiças (*Bos taurus* x *Bos indicus*), indicando que as vacas mestiças possuem menor exigência de energia metabolizável para manutenção, com menor eficiência energética líquida para produção de leite. Estudos de respirometria por calorimetria indireta permitem a determinação das exigências, a base para a formulação das dietas, visando o aumento do potencial genético e melhoria da eficiência alimentar (Posada-Ochoa et al., 2017).

O uso de câmaras respirométricas para avaliação das trocas gasosas é considerado o método padrão para quantificar a produção de metano entérico ( $\text{CH}_4$ ). Yan et al. (2010) afirmaram que a fermentação entérica dos ruminantes contribui com a maior parte das emissões totais de  $\text{CH}_4$  da pecuária. Devido às preocupações com o aquecimento global, vem aumentando a demanda da sociedade por alimentos produzidos de forma sustentável (Cunha et al., 2016). Assim, é importante conhecer os fatores que afetam a produção de  $\text{CH}_4$ , para que possam ser desenvolvidas estratégias de manejo para a mitigação desse gás, aumentando a eficiência produtiva e os impactos ambientais negativos da pecuária (Pereira et al., 2011).

Nesse contexto, estudos sobre metabolismo e produção de  $\text{CH}_4$  em animais Girolando, sob as condições em que são criados, incluindo as características inerentes ao animal, ambiente tropical e à dieta utilizada, tornam-se necessários.

O trabalho foi desenvolvido na Embrapa Gado de Leite e fez parte do projeto “Nutrição de Precisão para gado de leite em condições tropicais: exigências nutricionais, métricas de bioeficiência alimentar e fenótipos qualificados”. Os resultados obtidos no presente trabalho poderão contribuir para avanços do conhecimento em metabolismo de vacas Girolando no início de lactação, podendo nortear o estabelecimento de novas práticas de manejo alimentar e estudos de exigências nutricionais.

A tese está redigida na forma de artigo intitulado “Metabolismo, uso da energia, partição de nitrogênio e produção de metano entérico em vacas Girolando no terço inicial da lactação” formatado para as normas da revista *Journal of Dairy Science*.



## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Geral

Avaliar o desempenho, metabolismo energético e parâmetros metabólicos em vacas Girolando  $\frac{3}{4}$  Holandês x  $\frac{1}{4}$  Gir, primíparas ou multíparas sob dois níveis de alimentação (ad libitum *versus* restrito) no terço inicial da lactação.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Produção de leite em países de clima tropical

De acordo a Revisão de 2017 das projeções populacionais da ONU, a população mundial hoje é de 7,6 bilhões, com crescimento anual de 1,10%, originando mais de 83 milhões de pessoas por ano. A estimativa é que nos próximos 13 anos, a população mundial aumente para mais de um bilhão de pessoas, atingindo 8,6 bilhões em 2030, e mais de 9,8 bilhões em 2050 e 11,2 bilhões até 2100. Para Godfray et al. (2010), o crescimento populacional contínuo resultará no aumento da demanda por alimentos por pelo menos mais 40 anos, além da concorrência pela terra, água e energia.

Os países de clima tropical possuem diversidade de recursos naturais e potencial produtivo e agropecuário para a exploração econômica de várias culturas, dentre elas a bovinocultura leiteira, sendo o Brasil um dos países em destaque nesse cenário. Segundo Fagundes (2017), o Brasil foi o quinto maior produtor mundial de leite em 2016 tendo alcançado produção de 34,6 milhões de toneladas.

Estimativas do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2017), nos próximos 10 anos a taxa anual de crescimento será de 2,1 a 3,0%, alcançando valores entre 43,0 e 48,0 bilhões de litros de leite.

Diante do crescimento populacional é imprescindível que o Brasil se adeque a novas demandas e exigências internacionais, pois segundo Melo et al. (2016) a produção de leite é uma das principais atividades agropecuárias, que fornece alimento à população, além de possuir importância econômica, contribuindo na geração da renda nacional e arrecadação tributária. O país é caracterizado pelo predomínio de regiões de clima tropical e subtropical, fator potencialmente limitante na produção animal (Borburema et al., 2013), já que o manejo inadequado e a sazonalidade de produção de alimentos para os animais podem acarretar em menor aporte de nutrientes para os animais, com consequente perda na produção.

Segundo Tadesse e Dessie (2003) o gado predominante nos países tropicais pertence à espécie *Bos taurus indicus*, o qual possui boa adaptação aos ambientes tropicais por possuir tolerância ao calor e resistência a endo e ectoparasitas. Já o *Bos taurus taurus*, de alto potencial para produção de leite, predomina em países de clima temperado. Vasconcelos et al. (2003) afirmaram que o cruzamento entre as taurinas e zebuínas é uma alternativa viável, pois propicia a utilização racional da adaptação ao clima tropical das raças zebuínas, aliada ao potencial produtivo das raças taurinas, resultando em

animais com maior diversidade de genótipos e adaptados às condições edafoclimáticas do país. Segundo Facó et al. (2002) a maior parte da produção de leite em países de clima tropical é proveniente de animais cruzados Holandês x Gir.

A adoção de animais adaptados reduz o impacto do estresse calórico e diminuição na ingestão de alimentos, afetando menos o desempenho produtivo das vacas. Entretanto, Ruas et al. (2014) afirmaram que apenas o uso de animais cruzados não garante o sucesso econômico do produtor e reforçaram a importância de se conhecer as potencialidades e limitações de cada composição racial, a fim de estabelecer planejamento alimentar adequado ao rebanho e evitar erros de manejo e utilização de tecnologias inapropriadas.

### **3.2. O gado Girolando e a produção de leite**

De acordo com Canaza-Cayo et al. (2014) os cruzamentos entre animais das raças Holandês e Gir iniciaram-se por volta de 1940 e 1950, a fim de obter animais que aliassem alta capacidade de produção de leite do gado Holandês e a rusticidade da raça Gir. Em 1997, iniciaram-se os testes de progênie da raça Girolando em parceria com a Embrapa Gado de Leite. Posteriormente, foi implantado o Programa de Melhoramento Genético do Girolando, com o objetivo de identificar indivíduos superiores, permitir a multiplicação genética de forma orientada, avaliar características econômicas e promover a sustentabilidade da atividade leiteira (Silva et al., 2016).

Segundo a Associação Brasileira de Criadores de Girolando (ABCG), as fêmeas Girolando são excelentes produtoras de leite, apresentam características morfológicas perfeitas para produção nos trópicos, boa conversão alimentar e eficiência reprodutiva, o que atribui desempenho econômico satisfatório.

McManus et al. (2008) ao avaliarem o desempenho produtivo de vacas Holandês e Girolando ( $\frac{3}{4}H \times \frac{1}{4}G$ ;  $\frac{1}{2}H \times \frac{1}{2}G$ ;  $\frac{3}{8}H \times \frac{5}{8}G$ ; e  $\frac{1}{4}H \times \frac{3}{4}G$ ), obtiveram melhor desempenho produtivo com animais  $\frac{1}{2}H \times \frac{1}{2}G$  e  $\frac{3}{4}H \times \frac{1}{4}G$ . Ruas et al. (2014) observaram influência do grupo genético e da ordem de parto na produção de leite de vacas Girolando. Para Jenkins e McGuire (2006) a composição do leite pode variar de acordo com a genética e a raça de animais, ambiente, estágio e ordem de lactação, qualidade e quantidade da dieta fornecida. Diante disso, Melo et al. (2015) afirmaram que a eficiência produtiva de vacas Girolando ainda é desconhecida, havendo a necessidade de buscar a otimização da produtividade e qualidade do leite desses animais.

### 3.3. Partição de nitrogênio

A avaliação da partição de nitrogênio é importante, permitindo determinar a eficiência de utilização do nitrogênio pelos ruminantes e suas perdas para o ambiente (Mendes et al. 2007). Silva (2010) afirma que em estudos de nutrição animal, nos quais o foco da pesquisa é a proteína dietética, o balanço de nitrogênio é importante, pois permite quantificar a retenção de nitrogênio no organismo animal, por meio da diferença entre o nitrogênio ingerido e o excretado nas fezes e na urina, indicando a perda ou o ganho de proteína pelos animais. Desta forma, torna-se indispensável o uso de dietas balanceadas, a fim de atender as necessidades nutricionais dos ruminantes.

Segundo Berchielli et al. (2006) o valor biológico de determinado alimento pode ser estimado a partir dos níveis de excreção de certos metabólitos. Para Guimarães Jr. et al. (2007), o balanço de nitrogênio é um indicativo do metabolismo proteico, constituindo importante parâmetro na avaliação de alimentos, permitindo avaliar se o animal se encontra em equilíbrio quanto aos seus compostos nitrogenados. Logo, a sincronização na utilização da energia e proteína dietética pelos microrganismos do rúmen tem sido preconizada como uma forma de melhorar a fermentação ruminal e otimizar o aproveitamento da amônia produzida e a síntese de proteína microbiana (Martins, 2013).

Em casos de deficiência energética e excesso de proteínas degradáveis, a taxa de produção de amônia supera a sua utilização pelos microrganismos ruminais, observando-se um aumento em sua concentração no rúmen, com conseqüente incremento na excreção de ureia, crescente gasto energético para síntese de ureia, havendo assim perda do valor biológico das proteínas (Huntington e Archibeque, 1999).

Segundo Rusell et al. (1992), a amônia ruminal, resultante do processo de proteólise bacteriana, que se encontra livre, em excesso no ambiente ruminal, é absorvida por meio da parede do rúmen, rota principal para a amônia que não foi assimilada pelos microrganismos, e, posteriormente, é levada pela corrente sanguínea para o fígado, para formação da ureia, por meio do ciclo da ureia. Assim, a proteína que não é devidamente aproveitada e o que não é reciclado via saliva e/ou parede ruminal, é excretado pela urina (Ørskov, 1988).

Pereira et al. (2007) afirmam que para a quantificação da excreção do nitrogênio por meio da urina e fezes, há necessidade do conhecimento do volume urinário diário e da produção de matéria fecal. Para isso, o volume urinário pode ser obtido por meio de coleta total de urina (Chen e Gomes, 1992), ou através da coleta “spot” de urina, que

consiste numa única amostragem de urina, geralmente quatro horas após o fornecimento de alimentos aos animais.

Dessa forma, o balanço dos compostos nitrogenados permite quantificar a utilização do N-metabólico e relacioná-lo com a dieta oferecida aos animais (Tosto et al., 2006). Além disso, possibilita a avaliação do estado nutricional dos ruminantes, por meio dos produtos absorvidos e da extensão das perdas excretadas, o que poderá ter reflexo na sua resposta produtiva (Pereira et al., 2007).

### **3.4. Metabolismo energético de vacas leiteiras no terço inicial da lactação**

No período pós-parto, em especial nas primeiras semanas de lactação, a ingestão de alimento é insuficiente para preencher os requerimentos basais e de produção, desencadeando o balanço energético negativo (BEN), caracterizado pela mobilização de reservas corporais (Campos et al., 2007). Essa situação ocorre devido ao desencontro entre a maior demanda de nutrientes e a maior ingestão de matéria seca, visto que o pico de produção de leite ocorre entre a 4<sup>a</sup> e 8<sup>a</sup> semana pós-parto e o aumento na ingestão de matéria seca, entre a 10<sup>a</sup> e 14<sup>a</sup> semana após o parto (Faria, 2009). Para Moraes et al. (2004) vacas da raça Holandês são mais produtivas e mais exigentes quanto ao manejo nutricional, quando comparadas ao gado zebuíno. Dessa forma, Balancin Júnior et al., (2014) afirmam que o grupo genético exerce influencia sobre o tempo de lactação, uma vez que animais puros apresentam maior nível de produção durante o pico de lactação com menor persistência. Já animais mestiços, apesar de apresentarem menor nível de produção, persistem por mais tempo na lactação. Silva et al. (2006) ao avaliar o desempenho produtivo para as três primeiras lactações de 31.552 vacas Girolando em 778 rebanhos, verificaram média de produção de leite total de 5.204 kg, com duração de lactação de 283 dias.

Van Knegsel et al. (2007) afirmam que vacas de alta produção de leite são desafiadas no pós-parto com grandes demandas metabólicas causadas pelo aumento repentino das necessidades energéticas devido ao início da lactação, que não pode ser atendida somente pela ingestão de alimentos. Desta forma, os referidos autores afirmam que as vacas mobilizam gordura corporal para compensar esse déficit de energia. No entanto, Carvalho (2009) reportou que o balanço energético negativo em vacas F1 Holandês x Zebu é de curta duração, com baixa intensidade, com ausência de efeitos negativos sobre a fertilidade.

De acordo com Michailoff et al. (2013) a mobilização de reserva corporal, caracterizada como lipólise, resulta em aumento na concentração de AGNE no sangue, os quais serão utilizados como fonte de energia. Entretanto, quando a mobilização de AGNE excede a capacidade hepática de metabolizá-los, ocorre saturação das vias metabólicas. Portanto, Reist et al. (2002) afirmam que a estimativa do balanço energético por meio da determinação dos parâmetros sanguíneos tem um grande potencial prático no monitoramento do estado nutricional do rebanho. Com isso, Campos et al. (2007) afirmam que os principais indicadores do metabolismo energético em animais ruminantes são AGNE e  $\beta$ -Hidroxibutirato (BHBA), os quais estão intimamente relacionados ao BEN.

#### **3.4.1. Parâmetros sanguíneos**

O estudo dos parâmetros sanguíneos é importante na avaliação do desempenho produtivo de vacas leiteiras, pois serve como indicativo do perfil metabólico, o qual gera informações sobre a saúde e estado nutricional dos animais. Além disso, Silva et al. (2016) afirmam que a composição bioquímica do sangue reflete a metabolização dos nutrientes nos tecidos, permitindo avaliar os diferentes ingredientes que podem compor a dieta dos animais.

A concentração de ureia no sangue está relacionada com os níveis proteicos da ração e dependem da relação entre energia e proteína da dieta (Wittwer et al., 1993), servindo como um indicativo do metabolismo proteico dos animais.

Por ser controlada por diferentes hormônios (Koster e Opsomer, 2013), a glicose sanguínea não tem sido indicada como melhor indicador do metabolismo energético (Campos et al., 2007). Em vacas em lactação, o úbere demanda de uma quantidade considerável de glicose para a produção de leite (Koster e Opsomer, 2013), desta forma em condições de hipoglicemia, os triglicerídeos são mobilizados dos adipócitos, resultando em aumento na concentração de AGNE no sangue. Com a hidrólise dos AGNE, há um aumento nas concentrações de BHBA, levando a inibição da neoglicogênese hepática, com aumento do quadro de glicemia (Nascimento et al., 2016). Para Russel e Wright (1983) a avaliação de BHBA como indicador do BEN é limitada, pois só ocorre aumento considerável desse metabólito no sangue em condições de BEN severo, sendo vantajoso quando a demanda de glicose no organismo é crítica, como início de lactação e final da gestação.

Distúrbios metabólicos são observados quando os valores da composição bioquímica do sangue distanciam-se dos valores de referência. Wittwer (2000) afirma que quando a produção de corpos cetônicos é superior à sua utilização ocorre quadro de cetose. Para Li et al. (2012) valores de BHBA acima de 1,2 mmol/L indica diminuição da saúde do rebanho, com quadro de cetose subclínica.

Alguns autores referenciaram valores para concentração dos parâmetros sanguíneos (Tabela 1) em animais ruminantes (González e Silva, 2006), vacas em lactação da raça Holandês (Cozzi et al., 2011) e -bovinos da raça Holandês (Pogliani e Birgel Jr., 2007).

Devido à escassez de informações sobre os parâmetros sanguíneos em animais da raça Girolando, tornam-se necessários estudos que estabeleçam valores de referência para esse padrão racial.

Tabela 1. Valores de referência de metabólitos sanguíneos

| González e Silva (2006)      |         |              |
|------------------------------|---------|--------------|
| Metabólito                   | Unidade | Concentração |
| Ureia                        | mg/dL   | 17 - 45      |
| TGC                          | mg/dL   | 0 - 14       |
| Glicose                      | mg/dL   | 45 - 75      |
| BHBA                         | mg/dL   | < 10         |
| AGNE                         | -       | -            |
| Pogliani e Birgel Jr. (2007) |         |              |
| Metabólito                   | Unidade | Concentração |
| Ureia                        | -       | -            |
| TGC                          | mg/dL   | 14,9 – 24,0  |
| Glicose                      | mg/dL   | 60,6 - 67,2  |
| BHBA                         | mg/dL   | 3,37 - 6,2   |
| AGNE                         | µM/L    | 91,3 - 294   |
| Cozzi et al. (2011)          |         |              |
| Metabólito                   | Unidade | Concentração |
| Ureia                        | mg/dL   | 27,63        |
| TGC                          | mg/dL   | 12,39        |
| Glicose                      | mg/dL   | 57,66        |
| BHBA                         | -       | -            |
| AGNE                         | mmol/L  | 0,22         |

Os valores registrados por Pogliani e Birgel Jr. (2007) são recomendados para animais não gestantes e com lactação acima de 45 dias.

### 3.4.2. Calorimetria Indireta

A calorimetria indireta é utilizada no estudo do metabolismo energético, pois permite determinar os requerimentos e as perdas de energia na forma de CH<sub>4</sub> e produção de calor, através de câmaras respirométricas. Esse método pode ser de circuito aberto ou fechado. Para Silva e Leão (1979) na respirometria de circuito fechado ocorre recirculação do ar dentro da câmara, e a composição do ar que sai é mantida em níveis normais pela adição de novas quantidades de O<sub>2</sub>, enquanto o CO<sub>2</sub> é retido em componentes absorventes. A emissão de CH<sub>4</sub> é determinada pela retirada de ar sobre caolín platinizado aquecido ao rubro ou estimada por meio de equações matemáticas (Silva e Leão, 1979). Já a respirometria de circuito aberto não permite troca gasosa entre o ar externo e interno da câmara, exceto pelo próprio sistema de ventilação de ar, em que o ar externo passa pela câmara com um fluxo constante e conhecido. As medições são realizadas em 24 horas por analisadores que fazem a leitura a cada cinco minutos das concentrações de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, no ar atmosférico e no ar que sai da câmara (Borges et al., 2016).

Segundo (Kleiber, 1975) a determinação da produção de calor utilizando a técnica de calorimetria indireta é feita por meio da mensuração de trocas gasosas (consumo de O<sub>2</sub> e produção CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>) e pela excreção de nitrogênio urinário. Huhtanen et al. (2015) consideram que apesar dos altos custos de investimento, o uso de câmaras respirométricas tem sido método de referência na determinação de CH<sub>4</sub> entérico pelos ruminantes.

Com os dados obtidos a partir das trocas gasosas em câmara respirométrica é possível calcular a produção de calor dos animais, por meio da equação proposta por Brouwer (1965):

$$PC = 16,18 O_2 + 5,02 CO_2 - 2,17 CH_4 - 5,99 Nu$$

em que, PC = produção de calor (MJ/dia), O<sub>2</sub> = taxa de consumo de oxigênio (L/dia), CO<sub>2</sub> = taxa de produção de dióxido de carbono (L/dia), CH<sub>4</sub> = taxa de produção de gás metano (L/dia) e Nu = nitrogênio excretado na urina (g/dia).

Rodriguez et al. (2007) afirmam que a PC obtida em ensaios de metabolismo energético inclui o calor utilizado para manutenção e o desperdiçado como incremento calórico. Desta forma, a PC será utilizada para calcular a energia retida no tecido corporal dos animais por meio da diferença entre o consumo de energia bruta e as perdas de energia via fezes, urina, metano e produção de calor. Kirkland e Gordon



(2001) ratificam que os estudos de calorimetria permitem a medição simultânea de mudanças na produção de energia do leite, energia do tecido, ingestão de nutrientes e produção de calor dos animais.

### **3.4.3. Emissão de metano ( $CH_4$ ) entérico**

Segundo Haas et al. (2017), o  $CH_4$  é um gás de efeito estufa com potencial de aquecimento global 25 vezes maior do que o  $CO_2$ . A pecuária contribui no acúmulo de  $CH_4$  na atmosfera, devido à fermentação entérica que ocorre nos ruminantes, onde os microrganismos anaeróbicos convertem  $H_2$  e  $CO_2$  para  $CH_4$  (Yan, et al. 2010; Haas et al. 2017). De acordo com Johnson e Johnson (1995) o ruminante pode produzir 250 a 500L de metano por dia.

Pereira et al. (2011) relatam a importância de conhecer os mecanismos de síntese de  $CH_4$  e os fatores que podem afetar a sua produção, estabelecendo estratégias nutricionais e de manejo, a fim de reduzir a intensidade de emissão de  $CH_4$  entérico ( $CH_4$  /kg de leite), possibilitando maior eficiência produtiva e redução da contribuição para o aquecimento global.

Yan et al. (2010) reportaram que sob regime de alimentação normal, há grande variação na emissão de  $CH_4$ , o que torna cada vez mais relevante o estudo sobre a produção de  $CH_4$  pelos ruminantes. Hegarty et al. (2007) relataram relação positiva entre consumo de energia e produção de  $CH_4$ , visto que o aumento na ingestão de MS proporciona maior aporte de substratos para a fermentação ruminal e consequente aumento no fornecimento de  $H_2$  para a metanogênese. Para Ramin e Huhtanen (2013) a relação entre produção de  $CH_4$  e uso da eficiência de energia é inversa, pois tem impacto negativo na produtividade animal, uma vez que a emissão de  $CH_4$  representa considerável perda de energia para o ambiente.

Hynes et al. (2016) ao avaliarem o efeito do aumento de proteína bruta na dieta de vacas em lactação de dois tipos de genótipos (Holandês e Holandês x Sueca Vermelha), não verificaram efeito dos níveis de proteína na produção e rendimento de  $CH_4$  (g/dia; g/kg MS). O genótipo dos animais também não exerceu influência sobre a eficiência de utilização da energia ou nos parâmetros de emissão de  $CH_4$  entérico, a energia bruta perdida na forma de  $CH_4$  foi equivalente a 5,6%.

Avaliando o efeito do nível de concentrado (2,0; 4,0; 6,0 e 8,0 kg/vaca/dia) sobre a emissão de  $CH_4$  em vacas leiteiras (Holandês) em manejo de pastagem, Jião et al. (2017) não encontraram efeito dos níveis de concentrado na produção diária de  $CH_4$

(287, 273, 272 e 277 g/d, respectivamente). Já o rendimento de CH<sub>4</sub> (g/kg MS ingerida) diminuiu com o aumento de concentrado na dieta, e a intensidade de CH<sub>4</sub> (g/kg de leite) diminuiu na oferta de 4,0 e 8,0 kg/vaca/dia. Os autores evidenciam que a oferta de concentrados para vacas leiteiras em regime de pastagem, propicia aumento na produção de leite/vaca e diminui as emissões de CH<sub>4</sub> entérico/kg de leite produzido.

Pedreira et al. (2009) constataram que vacas da raça Holandês produziram mais CH<sub>4</sub> (299,3 g/dia) em relação às vacas  $\frac{3}{4}$  Holandês  $\frac{1}{4}$  Gir (264,2 g/dia). De acordo com a literatura supracitada, vacas secas e novilhas emitem menor quantidade de CH<sub>4</sub> (268,8 e 222,6 g/dia, respectivamente) do que vacas lactantes (353,8 g/dia). De acordo com os dados obtidos, os referidos autores relatam a importância de pesquisas mais aprofundadas sobre a emissão de CH<sub>4</sub> entérico em rebanhos bovinos brasileiros, devido às variações na emissão de CH<sub>4</sub> entre grupos genéticos, categorias e sistemas de produção regionais distintas no país.

#### **3.4.4. Partição e Exigência energética**

Segundo Cabral et al. (2006) devido a energia ser considerada o principal fator limitante à vida e às funções produtivas, a sua determinação nos alimentos é essencial para o atendimento das exigências nutricionais dos animais. Desta forma, o conceito de energia bruta (EB) é caracterizado como a energia contida nos alimentos, a qual será ingerida pelo animal. Weiss (1993) afirma que a EB pode ser facilmente medida utilizando bomba calorimétrica, mas o seu uso na formulação de rações é impossibilitado devido às variações existentes na digestibilidade e metabolismo dos alimentos.

Segundo NRC (1996) a partir da determinação da EB é possível obter a energia digestível (ED) e metabolizável (EM). A ED corresponde a EB subtraída das fezes, já a EM leva em consideração das perdas provenientes das fezes, urina e CH<sub>4</sub>, logo EM equivale a diferença entre ED e as perdas de energia via urina e CH<sub>4</sub>. A EM é composta pela energia produzida na forma de calor (PC) e energia retida (ER; NCR, 1996). Para Valadares Filho et al. (2009) o consumo de energia metabolizável (CEM) exerce influência sobre a atividade metabólica do fígado e do trato gastrointestinal, o que gera impacto no total de energia utilizada para manutenção. Quando os animais passam por restrição de CEM, o organismo tende a se adaptar ao menor aporte de nutrientes, o que causa diminuição dos órgãos de alta atividade metabólica, e conseqüentemente reduz a quantidade de energia necessária para sua manutenção.

As exigências líquidas de manutenção (ELm) equivale ao calor produzido pelo animal em jejum, desta forma, a PC pelo animal nessas condições, representa a quantidade de energia dispensada para as atividades estritamente basais, como respiração, circulação, homeotermia e funcionamento dos órgãos e sistemas enzimáticos (Garrett et al., 1959).

De acordo com o NRC (2001) os requerimentos de energia líquida para manutenção e produção de leite são expressos em energia líquida para lactação (EL<sub>L</sub>). As exigências dietéticas de energia são obtidas a partir da correção das exigências líquidas por um fator de eficiência de utilização. A partir do conhecimento das exigências líquidas, e, levando-se em consideração os fatores de eficiência de utilização da energia dietética para diferentes funções fisiológicas, entre elas, manutenção, ganho de peso e produção de leite, obtêm-se as exigências dietéticas de energia (NRC, 2001).

Os dados obtidos pela técnica de respirometria, baseadas nas trocas respiratórias, permite a avaliação da energia líquida dos alimentos e do metabolismo animal (Borges et al., 2016).

De acordo com NRC (1981) a energia metabolizável para manutenção (EMm) engloba o metabolismo basal, o qual refere-se a energia mínima para a manutenção dos processos vitais em um animal saudável e em estado pós-absortivo (48 a 144 horas de jejum após a alimentação). Além do metabolismo basal, a EMm compreende a PC do animal alimentado, levando em consideração o incremento calórico (Guimarães et al., 2012).

A ELm associa-se a energia utilizada para realização das funções basais do animal, podendo ser obtida pela mensuração dos requerimentos de energia do metabolismo basal, que corresponde à produção de calor de animal em jejum (Lage, 2011). Borges et al. (2016) afirmam que o conhecimento da PC pelo animal em diferentes fases fisiológicas, com diferentes dietas, permite a estimativa dos valores de eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção, ganho de peso, gestação e lactação.

A eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção pode ser expressa como  $K_m = ELm/EMm$ . Sendo a EMm sempre superior a ELm, visto que o processo de alimentação, digestão e metabolismo requer energia e este acaba sendo liberado do animal como calor (Guimarães et al., 2012).

#### **IV. ARTIGO CIENTÍFICO**

### **METABOLISMO, EXIGÊNCIAS DE ENERGIA E EMISSÃO DE METANO ENTÉRICO EM VACAS GIROLANDO NO TERÇO INICIAL DA LACTAÇÃO**

**Manuscrito formatado para submissão no periódico Journal of Dairy Science**

1 **Interpretive Summary:** *By Dias, et al.* Vacas leiteiras adaptadas ao clima tropical são  
2 importantes para a produção e suprimento da crescente demanda mundial por leite e  
3 produtos de origem animal. O conhecimento sobre o uso da energia, partição de  
4 nitrogênio e emissão de metano entérico em vacas Girolando  $\frac{3}{4}$  Holandês x  $\frac{1}{4}$  Gir no  
5 início da lactação são escassos e os resultados do trabalho são importantes para o  
6 estabelecimento de práticas de manejo alimentar e determinação das exigências  
7 nutricionais para produção eficiente em sistemas de produção de leite em condições de  
8 clima tropical.

9

## 10 METABOLISM IN EARLY LACTATION GYROLANDO COWS

11

12 **Metabolism, energy use and requirements, nitrogen partition and enteric methane**  
13 **production of early lactation Gyrolando cows**

14

15 **C. A. S. Dias,\* L. G. R. Pereira, † A. L. Ferreira, §† T. R. Tomich, † M. M.**

16 **Campos, † F. S. Machado, <sup>1</sup>†**

17 \*Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brazil, 45662-900;

18 †*Brazilian Agricultural Research Corporation*, Embrapa Dairy Cattle, Juiz de Fora,  
19 MG, Brazil, 36038-330;

20 § Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei, Minas Gerais, Brazil,  
21 36307-352;

22 <sup>1</sup>Corresponding author: [fernanda.machado@embrapa.br](mailto:fernanda.machado@embrapa.br)

23

24

25

26

## ABSTRACT

27

28 Objetivou-se avaliar o desempenho, os parâmetros metabólicos, a digestibilidade, a  
29 produção de metano e a partição de nitrogênio e energia de vacas Girolando (3/4  
30 Holandês x 1/4 Gir) primíparas e multíparas recebendo dois níveis de alimentação no  
31 terço inicial da lactação. Vinte e seis fêmeas leiteiras, 14 primíparas e 12 multíparas,  
32 foram distribuídas em delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema  
33 fatorial 2 x 2 (ordem de lactação: Primíparas x Multíparas) x (nível de alimentação: *Ad*  
34 *libitum* x Restrito). O fornecimento *ad libitum* foi ajustado para propiciar 10% de  
35 sobras. Já o consumo restrito, foi ajustado para atender a 80% e 85% das exigências de  
36 energia líquida para manutenção e lactação segundo o NRC (2001) para multíparas e  
37 primíparas, respectivamente. Os animais receberam dieta total a base de silagem de  
38 milho, feno de Tifton 85 e concentrado. O consumo de matéria seca (CMS) e demais  
39 nutrientes foi superior para os animais do tratamento *ad libitum* em relação ao restrito e  
40 não foi afetado pela ordem de lactação. A produção de leite diária e a produção  
41 corrigida para 4% de gordura, assim como a eficiência de conversão alimentar foram  
42 superiores para as multíparas. Os animais em consumo restrito apresentaram maior  
43 eficiência de conversão alimentar e eficiência alimentar para lactação. Não houve efeito  
44 da OL e níveis de alimentação na digestibilidade da MS e frações nutricionais. O  
45 balanço de nitrogênio (g/dia) não foi afetado pela OL. A quantidade total de nitrogênio  
46 excretado (481 g/dia vs. 379 g/dia) e o nitrogênio retido (111 g/dia vs. 36 g/dia) foram  
47 maiores para as vacas do tratamento *ad libitum*. A produção de CH<sub>4</sub> (g/dia) foi 32,6%  
48 maior para os animais em consumo *ad libitum* e semelhante entre as primíparas e  
49 multíparas. Os animais em restrição alimentar apresentaram menor disponibilidade de  
50 energia metabolizável (EM, MJ/dia) em relação aos de consumo *ad libitum* (145 vs. 211  
51 MJ/dia). Os animais do tratamento *ad libitum* apresentaram maior produção de calor  
52 (114 MJ/dia vs. 89,6 MJ/dia) e retiveram mais energia em relação aos animais do  
53 tratamento restrito (22,8 MJ/dia vs. -8,92 MJ/dia). A exigência de energia metabolizável  
54 de manutenção, energia líquida de manutenção e a eficiência de utilização da energia  
55 metabolizável para lactação (*kl*) foram iguais a 0,55 MJ/kg PV<sup>0,75</sup>, 0,35 MJ/kg PV<sup>0,75</sup> e  
56 0,64, respectivamente, segundo a metodologia de cálculo do NRC (2001). A restrição  
57 alimentar não afetou a produção de leite, mas elevou a concentração de AGNE no  
58 plasma. As multíparas apresentaram maior produção, com melhor conversão alimentar.  
59 Animais com maior consumo de matéria seca emitem mais CH<sub>4</sub> entérico. O NA e OL

60 afetou o balanço energético dos animais e as exigências energéticas encontradas para  
61 vacas Girolando no terço inicial da lactação são próximas às recomendadas pelo NRC.

62

63 **Keywords:** dairy cows, energy partition, enteric methane, nitrogen balance, respirometry

64

65

66

## 67 INTRODUÇÃO

68

69 Com o crescimento populacional haverá maior demanda por alimentos, sendo  
70 necessário o uso de tecnologias adequadas, a fim de proporcionar aumento da  
71 produtividade na pecuária leiteira. Laurance et al. (2013) afirmaram que nas próximas  
72 décadas, o aumento da produção de alimentos será um desafio para agricultura,  
73 principalmente nos países de clima tropical, em que há crescimento e produção de  
74 diversas culturas, e a terra é menos dispendiosa em comparação aos países de clima  
75 temperado.

76 A adoção de animais adaptados às condições climáticas, bem como o uso racional  
77 dos recursos naturais é uma premissa para melhorar a eficiência dos sistemas de  
78 produção, manter a competitividade e qualidade dos produtos lácteos. Segundo Canaza-  
79 Cayo et al. (2017) a indústria de laticínios contribui de forma significativa para o  
80 agronegócio, sendo grande parte do leite produzido proveniente de animais Girolando,  
81 adaptados aos diversos sistemas de produção em países de clima tropical. Pereira et al.  
82 (2013) afirmaram que a raça Gir se destaca pela resistência a endo e ectoparasita e  
83 adaptação a altas temperaturas. Com o objetivo de aliar alta capacidade de produção de  
84 leite e rusticidade, foi desenvolvida a raça Girolando a partir de cruzamentos entre a  
85 raça Holandês e Gir, passando por variadas composições raciais, desde 1/4 Holandês +  
86 3/4 Gir até 7/8 Holandês + 1/8 Gir (Aguiar et al., 2017).

87 Estudos sobre desempenho produtivo de animais cruzados têm evidenciado a  
88 eficiência dos animais  $\frac{3}{4}$  Holândes x  $\frac{1}{4}$  Gir para produzir leite em condições de clima

88 tropical, sendo um dos fenótipos mais importantes para a produção de leite no Brasil.  
89 Brasil et al. (2015) ao avaliarem a composição e a produção de leite de três grupos  
90 raciais (Holandês;  $\frac{3}{4}$  Holândes x  $\frac{1}{4}$  Gir;  $\frac{1}{4}$  Holandês x  $\frac{3}{4}$  Jersey), observaram que os  
91 animais  $\frac{3}{4}$  Holandês x  $\frac{1}{4}$  Gir apresentaram maior desempenho produtivo e menor teor  
92 de gordura no leite. Já, Melo et al. (2015) ao testarem três composições raciais ( $\frac{1}{2}$   
93 Holandês x  $\frac{1}{2}$  Gir;  $\frac{3}{4}$  Holândes x  $\frac{1}{4}$  Gir e  $\frac{7}{8}$  Holandês x  $\frac{1}{8}$  Gir) de vacas primíparas,  
94 não observaram diferenças para os constituintes do leite, e os animais  $\frac{3}{4}$  Holandês x  $\frac{1}{4}$   
95 Gir foram mais produtivos.

96 Diante do potencial produtivo desses animais, Oss et al. (2017) destacaram a  
97 importância de pesquisas focadas em exigências nutricionais envolvendo raças e  
98 condições de alimentação representativas de países ou regiões com destaque na  
99 produção pecuária, como Brasil.

100 Oliveira (2015) reportou diferenças nas exigências energéticas entre vacas  
101 leiteiras *Bos taurus* e mestiças (*Bos taurus* x *Bos indicus*), indicando que as vacas  
102 mestiças possuem menor exigência de energia metabolizável para manutenção, com menor  
103 eficiência energética líquida para produção de leite. Estudos de respirometria por  
104 calorimetria indireta permitem a determinação das exigências, a base para a formulação  
105 das dietas, visando o aumento do potencial genético e melhoria da eficiência alimentar  
106 Posada-Ochoa et al. (2017).

107 O uso de câmaras respirométricas para avaliação das trocas gasosas é considerado  
108 o método padrão para quantificar a produção de metano entérico ( $\text{CH}_4$ ). Yan et al.  
109 (2010) afirmaram que a fermentação entérica dos ruminantes contribui com a maior  
110 parte das emissões totais de  $\text{CH}_4$  da pecuária. Devido às preocupações com o  
111 aquecimento global, vem aumentando a demanda da sociedade por alimentos  
112 produzidos de forma sustentável (Cunha et al., 2016). Assim, é importante conhecer os



113 fatores que afetam a produção de CH<sub>4</sub>, para que possam ser desenvolvidas estratégias de  
114 manejo para a mitigação desse gás, aumentando a eficiência produtiva e os impactos  
115 ambientais negativos da pecuária (Pereira et al., 2011).

116 Nesse contexto, estudos sobre metabolismo e produção de CH<sub>4</sub> em animais  
117 Girolando, sob as condições em que são criados, incluindo as características inerentes  
118 ao animal, ambiente tropical e à dieta utilizada, tornam-se necessários. Assim,  
119 objetivou-se avaliar o consumo, desempenho, eficiência alimentar, digestibilidade dos  
120 nutrientes, partição de nitrogênio, emissão de CH<sub>4</sub> entérico, partição e exigências  
121 energéticas, em vacas Girolando no terço inicial da lactação, sob dois níveis de  
122 alimentação (*ad libitum* e restrito), utilizando câmaras respirométricas.

123 Os resultados obtidos no presente trabalho poderão contribuir para avanços do  
124 conhecimento em metabolismo de vacas Girolando no início de lactação, podendo  
125 nortear o estabelecimento de novas práticas de manejo alimentar e estudos de exigências  
126 nutricionais.

## 127 MATERIAL E MÉTODOS

128 Todos os procedimentos com animais foram aprovados pela Comissão de Ética  
129 no Uso de Animais da Embrapa Gado de Leite – Juiz de Fora, Minas Gerais (Protocolo  
130 CEUA – EGL nº 23/2014). O experimento foi conduzido no Complexo Experimental  
131 Multiusuário de Bioeficiência e Sustentabilidade da Pecuária, localizado no Campo  
132 Experimental José Herique Bruschi (CEJHB), pertencente à Embrapa Gado de Leite.

### 133 *Animais, Dieta e Delineamento Experimental*

134 Foram utilizadas vinte e seis fêmeas leiteiras Girolando,  $\frac{3}{4}$  Holandês -  $\frac{1}{4}$  Gir, 14  
135 primíparas e 12 multíparas, durante o terço inicial da lactação (dias em lactação = 21 a  
136 100). O período experimental deu-se início a partir da quarta semana de lactação,

137 quando os animais foram alojados em um Galpão de Metabolismo de Bovinos, em  
138 sistema *tie stall*.

139 Os animais foram distribuídos em delineamento experimental inteiramente  
140 casualizado em esquema fatorial 2 x 2, referentes a ordem de lactação (OL; Primíparas  
141 x Multíparas) e nível de alimentação (NA; *Ad libitum* x Restrito), constituindo quatro  
142 tratamentos. O peso vivo inicial (PVI) e a produção de leite inicial (PLI) de cada grupo  
143 experimental foram: Primíparas *Ad libitum* (n = 6; PVI = 477 ± 15,8 kg; PLI = 21,7 ±  
144 3,35 kg/dia); Primíparas em Restrição (n = 8; PVI = 477 ± 43,4 kg; PLI = 22,4 ± 4,66  
145 kg/dia); Multíparas *Ad libitum* (n = 6; PVI = 536 ± 64,4 kg; PLI = 27,8 ± 3,64 kg/dia) e  
146 Multíparas em Restrição (n = 6; PVI = 559 ± 50,3 kg; PLI = 29,2 ± 4,98 kg/dia). Cada  
147 animal representou uma unidade experimental. O consumo restrito consistiu no  
148 fornecimento da dieta para atender 85% e 80% das exigências de energia líquida total  
149 (manutenção e produção de leite) das primíparas e multíparas, respectivamente. No  
150 tratamento *ad libitum* a oferta foi ajustada diariamente para propiciar 10% de sobras.

151 A dieta experimental foi formulada para atender as exigências nutricionais das  
152 vacas no terço inicial da lactação, considerando peso vivo de 600 kg, produção média de  
153 35 kg de leite e ganho de peso igual a 0,10 kg/dia, de acordo com o NRC (2001). A  
154 dieta foi semelhante para todos os tratamentos e continha silagem de milho, feno de  
155 Tifton 85 e concentrado, com relação volumoso: concentrado de 508:492 g/kg de MS.  
156 Os ingredientes do concentrado foram: farelo de soja, milho moído, núcleo mineral  
157 *Lactage Gold*, calcário, bicarbonato de sódio, óxido de magnésio, ureia e sulfato de  
158 amônio (Tabela 2).

159 Semanalmente, foram determinados os valores de matéria seca da silagem e do  
160 feno, para ajuste da quantidade de dieta a ser ofertada. O arração foi realizado  
161 duas vezes ao dia após as ordenhas da manhã (06:30) e tarde (14:00).

162 ***Determinação do consumo***

163 O consumo foi avaliado diariamente por meio da pesagem das sobras no período  
164 da manhã, antes do fornecimento da dieta. Diariamente foram feitas amostragens das  
165 sobras, da silagem de milho e do feno de Tifton. O concentrado foi amostrado  
166 semanalmente. As amostras foram embaladas em sacos de plástico, identificadas e  
167 congeladas a -20 ° C até o processamento.

168

169 ***Desempenho e composição do leite***

170 A produção de leite foi mensurada diariamente por sistema automático de  
171 ordenha (DeLaval, Tumba, Sweden), instalado em ordenha do tipo espinha de peixe  
172 (2x4), equipada com contadores de leite eletrônicos MM27, unidade de controle MPC  
173 580/680 e removedor automático de coletores (ACR).

174 Procedeu-se a correção da produção de leite para 4% de gordura e energia,  
175 segundo as equações propostas pelo (NRC, 2001) e (Tyrrell and Reid, 1965),  
176 respectivamente.

177 As amostras de leite foram coletadas semanalmente, durante três dias  
178 consecutivos, nas ordenhas da manhã e tarde (totalizando seis amostras/animal/semana)  
179 para análise de composição (gordura, proteína, lactose, extrato seco, extrato seco  
180 desengordurado e ureia). Uma alíquota (50 mL) foi acondicionada em frascos contendo  
181 conservante de Bronopol®, armazenadas a 4°C e encaminhadas ao Laboratório de  
182 Qualidade do Leite da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG para avaliação em  
183 sistema de Espectrômetria por Infravermelho, utilizando o equipamento Bentley 2000®  
184 (Bentley Instruments Inc., Chaska, MN, USA) segundo as recomendações da  
185 International Dairy Federation (IDF, 2000).

186 A eficiência de conversão alimentar (ECA) e a eficiência alimentar para  
187 lactação (EAL) foram determinadas pelas equações propostas por Arndt et al. (2015):

$$ECA = PLT/CMS$$

$$EAL = ELI/CMS$$

188 Em que: PLT = produção de leite total (kg/dia), CMS = consumo de matéria seca  
189 e ELI = energia líquida para lactação (MJ/dia).

190

### 191 ***Ensaio de digestibilidade, coleta de urina e partição de nitrogênio***

192 A digestibilidade contemplou quatro dias de coleta total de fezes. A massa fecal  
193 produzida por cada animal foi pesada pela manhã (8:00) e tarde (16:00), após a  
194 homogeneização do material fecal, foi retirada uma amostra de cada período para  
195 análise de matéria seca e determinação da produção fecal diária. Adicionalmente, foram  
196 coletadas duas amostras nos mesmos horários (manhã e tarde), diretamente da ampola  
197 retal dos animais, para análise de composição química.

198 A coleta de urina foi realizada por dois dias consecutivos, utilizando sonda  
199 urinária (cateter RÜSCH foley, REF 189230, Teleflex Medical Europe Ltd, Co  
200 Westmeath, Irlanda), conectadas a mangueiras de polietileno que conduziram a urina até  
201 um galão plástico imerso em gelo. Ao término de cada período de 24 horas de coleta, foi  
202 mensurado o peso da urina produzida e, posteriormente, foi obtida amostra de 50 mL de  
203 urina de cada animal, para análises de energia bruta (EB) e nitrogênio urinário (Nu).

204 Durante o ensaio de digestibilidade a ordenha foi realizada no *tie stall* com auxílio  
205 de unidades de ordenha móvel (Voges 10NI56, Weizur, São Paulo, Brasil), a produção  
206 de leite foi mensurada individualmente e obtida uma amostra de leite em cada ordenha  
207 para análise da composição do leite.

208 Os coeficientes de digestibilidade (g/kg) foram calculados pela equação:

209  $\text{Coeficiente de digestibilidade} = [(\text{ingerido} - \text{excretado}) / \text{ingerido}] \times 1000.$

210 A partição de nitrogênio foi calculada pela equação:  $N \text{ retido (g/dia)} = N \text{ ingerido}$

211  $(\text{g/dia}) - N \text{ fecal (g/dia)} - N \text{ urinário (g/dia)} - N \text{ leite (g/dia)}.$

212

### 213 ***Parâmetros sanguíneos***

214 As coletas de sangue foram realizadas na 4<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup>, 11<sup>a</sup> e 15<sup>a</sup> semanas de lactação,

215 via punção da veia coccígea, utilizando tubos de *vacutainer*® de 10 mL, contendo

216 EDTA. As amostras foram obtidas antes do trato da manhã e, imediatamente após a

217 coleta, as amostras foram centrifugadas (3000 *rpm* por 15 minutos). Foram analisadas

218 as concentrações séricas de ureia (REF27), triglicérides (REF87) e glicose (REF133)

219 utilizando kits do Labtest Diagnostics (Lagoa Santa, Brasil). As concentrações de  $\beta$ -

220 hidroxibutirato (RB1007) e ácidos graxos não esterificados – AGNE (FA115) foram

221 medidas utilizando kits da Randox Laboratories Ltd. (London, United Kingdom). Para as

222 avaliações dos parâmetros sanguíneos foi utilizado espectrofotômetro de microplacas

223 EON (Biotek Instruments Inc., Winooski, EUA).

224

### 225 ***Avaliações na câmara respirométrica e partição energética***

226 Após o ensaio de digestibilidade foi realizada a avaliação das trocas gasosas

227 utilizando quatro câmaras respirométricas de circuito aberto de acordo com as

228 especificações e procedimentos descritos por Machado et al. (2016). Após a ordenha da

229 manhã, os animais foram pesados e alocados individualmente nas câmaras

230 respirométricas. O peso do animal foi registrado na entrada e saída da câmara, e o fluxo

231 de ar ajustado com base no peso do animal (1,3 L/min/kg de peso corporal). As câmaras

232 foram configuradas para manter condições de termoneutralidade ( $23\pm 3$  °C e  $65\pm 5\%$  de  
233 umidade relativa do ar).

234 O consumo diário de oxigênio ( $O_2$ ) e produção de gás carbônico ( $CO_2$ ) e metano  
235 ( $CH_4$ ) foi medido em dois períodos de 22-23 horas por animal, com correção para os  
236 níveis de recuperação de  $CO_2$  e  $CH_4$  e extrapolados para 24h.

237 A emissão de  $CH_4$  foi calculada de acordo com Machado et al. (2016). A  
238 produção de calor foi estimada conforme a equação de Brower (1965). O nitrogênio  
239 urinário foi determinado a partir de amostras obtidas nos ensaios de digestibilidade.

240 A partição energética foi determinada a partir do consumo de energia bruta  
241 (CEB), calculado pela diferença entre a energia bruta (EB) presente na dieta e a obtida  
242 nas sobras. Posteriormente, determinaram-se as demais frações energéticas  
243 considerando as perdas energéticas provenientes das fezes, urina,  $CH_4$  e produção de  
244 calor diária.

245 O consumo de energia digestível (CED) foi calculado pela diferença entre o  
246 consumo de energia bruta (CEB) e a energia bruta perdida nas fezes. Sequencialmente,  
247 determinou-se o consumo de energia metabolizável (CEM) subtraindo-se a energia  
248 contida na urina e  $CH_4$ . Para a quantificação da energia perdida na forma de  $CH_4$ ,  
249 admitiu-se a perda de 9,45 kcal/L de  $CH_4$  produzido (Brower, 1965).

250 A metabolizabilidade ( $q$ ) da dieta foi calculada segundo o AFRC (1993), pela  
251 razão entre o CEM e o CEB. A energia líquida para lactação (ELI, Mcal/dia) foi  
252 calculada utilizando os dados de produção e composição do leite das vacas no período  
253 da manhã e tarde, conforme a equação proposta pelo NRC (2001):

254  $ELI = [((0,0929 \times \text{gordura manhã}) + (0,0547 \times \text{proteína manhã}) + (0,0395 \times \text{lactose}$   
255  $\text{manhã}) \times \text{produção de leite manhã}) + ((0,0929 \times \text{gordura tarde}) + (0,0547 \times$   
256  $\text{proteína tarde}) + (0,0395 \times \text{lactose tarde}) \times \text{produção de leite tarde})]$ .

257 Os valores encontrados foram transformados para MJ (1 Mcal = 4,184 MJ). O balanço  
258 energético (BE) foi determinado pela diferença entre as variáveis: CEM, ELI e PC, em  
259 que:  $BE = CEM - ELI - PC$ . Foram calculadas as relações entre CEM/CEM; PC/CEM;  
260 ELI/CEM e BE/CEM como indicadores de eficiência energética.

261

### 262 *Processamento das Amostras e Análises Laboratoriais*

263 Todas as amostras coletadas durante o período experimental foram submetidas à  
264 pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 55°C, por 72 horas, e, posteriormente,  
265 processadas em moinho Willey (modelo padrão 4, Arthur H. Thomas Co., Philadelphia,  
266 PA), utilizando peneira com crivo de 1 mm de diâmetro.

267 Foram feitas amostras compostas semanais de sobras, silagem e feno. As  
268 amostras coletadas durante o ensaio de digestibilidade e no período de mensuração em  
269 câmara respirométrica foram analisadas individualmente.

270 As análises foram realizadas para determinar os teores de MS em estufa a 105°C  
271 (AOAC, 1990; método 934.01), cinzas (AOAC, 1990; método 942.05), PB pelo método  
272 Kjeldahl (AOAC, 1990; método 984.13), EB por combustão em bomba calorimétrica  
273 adiabática (IKA – C5000, IKA® Works, Staufen, Alemanha), FDN pelo método  
274 sequencial de Van Soest et al. (1991), adaptado ao aparelho ANKOM220,  
275 FiberAnalyzer (Ankom Technology, Fairport, NY), com adição de 500 µL/g MS de  
276 amilase termoestável, sem sulfito de sódio e corrigido para nitrogênio (Mertens et al.,  
277 2002), EE (AOAC, 1990; método 920.39).

278 Os valores de matéria orgânica (MO) foram calculados segundo a equação  $MO$   
279  $= 100 - CZ$ ; e os carboidratos não fibrosos (CNF) foram obtidos pela equação proposta  
280 por Sniffen et al. (1992):  $CNF = 100 - (\%FDN + \%PB + \%EE + \%Cinzas)$ . Para as  
281 amostras de alimentos concentrados utilizou-se a fórmula sugerida por Detmann e

282 Valadares Filho (2010):  $CNF = 100 - [(\%PB - \%PB \text{ da ureia} + \% \text{ inclusão de ureia}) +$   
 283  $\%FDN + \%EE + \% CZ]$ , considerando a inclusão de ureia.

284

### 285 *Exigências Energéticas*

286 A energia líquida para lactação ajustada para balanço de energia zero foi  
 287 calculada utilizando-se a equação:

$$288 \text{ELI}(0) = \text{ELI} + a \text{BE}$$

289 Em que:

290  $\text{ELI}(0)$  = energia líquida para lactação ajustada para balanço de energia zero (MJ)

291  $\text{ELI}$  = energia líquida para lactação (MJ)

292 Em condições de balanço energético positivo ( $\text{BE} > 0$ ):

$$293 a = 0,64 / 0,75 = 0,85 \text{ (NRC, 2001)}$$

294 Em condições de balanço energético negativo ( $\text{BE} < 0$ ):

$$295 a = 0,82 \text{ (NRC, 2001)}$$

296 Os valores de energia líquida para manutenção ( $\text{ELm}$ ) e eficiência de utilização da energia  
 297 metabolizável para lactação ( $kl$ ) foram estimados por meio da regressão linear entre a  
 298  $\text{ELI}(0)$  ( $y$ ) o CEM ( $x$ ) e , utilizando-se a equação:

$$299 \text{ELI}(0) = a \text{CEM} + b$$

300 A  $\text{ELm}$  foi calculada como o intercepto ( $b$ ) e  $kl$  como o coeficiente de inclinação da  
 301 regressão ( $a$ ).

302 A eficiência de utilização da EM para lactação ( $Kl$ ) e manutenção ( $Km$ ) foram  
 303 consideradas como valores semelhantes ( $Kl = Km$ ), uma vez que a literatura as  
 304 considera como valores próximos (Moe e Tyrrell, 1972; Flatt *et al.*, 1965; NRC, 2001).

305 A energia metabolizável para manutenção ( $\text{EMm}$ ) foi obtida pela equação:  $\text{EMm} =$   
 306  $\text{ELm}/Kl$ .



307 ***Procedimentos estatísticos***

308 Os dados foram analisados em delineamento experimental inteiramente  
309 casualizado, em esquema fatorial  $2 \times 2$ , referentes a ordem de lactação (primíparas x  
310 múltiparas) e nível de alimentação (*ad libitum* x restrito), segundo modelo:

311 
$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_k + \alpha\beta_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

312 Em que:

313  $Y_{ijk}$  = observação da variável dependente

314  $\mu$  = média geral

315  $\alpha_i$  = efeito da ordem de lactação

316  $\beta_k$  = efeito do nível de alimentação

317  $\alpha\beta_{ik}$  = efeito de interação entre ordem de lactação e nível de alimentação

318  $\varepsilon_{ijk}$  = efeito do erro aleatório associado à observação de  $Y_{ijk}$ .

319 As variáveis produtivas e as oriundas de análises químicas (consumo de  
320 nutrientes e energia, composição do leite, parâmetros sanguíneos, etc.) foram avaliadas  
321 como medidas repetidas no tempo, referentes aos momentos de coleta dos dados de  
322 acordo com cada tratamento.

323 As variáveis foram avaliadas utilizando modelo misto, em que os fatores fixos  
324 foram à ordem de lactação, nível de alimentação e a interação entre esses dois fatores.  
325 Como fator aleatório utilizou-se animal aninhado ao tratamento, admitindo-se como o  
326 nível de significância de 5% para todos os testes realizados.

327 As variáveis foram submetidas a testes de normalidade e homocedasticidade, e,  
328 aquelas que não apresentaram distribuição normal foram submetidas à transformação  
329 logarítmica ou raiz quadrada. Para as variáveis que apresentaram efeitos significativos  
330 as médias foram comparadas pelo teste Tukey, admitindo 5% como nível crítico de  
331 probabilidade para o erro tipo I.

332 As análises de variância foram realizadas utilizando-se o procedimento GLM do  
333 programa estatístico MINITAB 17 (Minitab Software, 2010).

334

335

## RESULTADOS

### 336 *Parâmetros de Consumo e desempenho*

337 Os consumos de matéria seca (CMS), matéria orgânica (CMO), proteína bruta  
338 (CPB), extrato etéreo (CEE), fibra em detergente neutro (CFDN) e carboidratos não  
339 fibrosos (CCNF) não foram afetados pela OL. Já o NA influenciou o CMS e dos  
340 nutrientes. O CMS foi 36% superior para os animais do tratamento *ad libitum* (Tabela  
341 3).

342 As multíparas apresentaram maior peso vivo em relação às primíparas (541 vs.  
343 483 kg) e não foi observado efeito significativo do NA sobre o peso vivo. Já o ganho de  
344 peso médio diário (GMD, Kg/dia) foi influenciado tanto pela OL quanto pelo NA. As  
345 primíparas obtiveram ganho de peso médio diário de 0,32 kg/dia, já as multíparas  
346 perderam 0,12 kg/dia. Os animais do tratamento *ad libitum* apresentaram ganhos de  
347 0,43 kg/dia e os de consumo restrito perderam 0,23 kg/dia (Tabela 3). A interação OL x  
348 NA não foi significativa para as variáveis de consumo, peso vivo e ganho médio diário  
349 (Tabela 3).

350 A produção de leite em kg e a produção corrigida para gordura (4%) e energia  
351 foram superiores (18,36%; 14,39% e 14,04%, respectivamente) para as multíparas, mas  
352 o NA não teve impacto na produção de leite e a interação OL x NA não foi significativa  
353 (Tabela 4).

354 A OL não afetou os teores de gordura, proteína, lactose, ES, ESD e ureia do  
355 leite. As porcentagens de proteína e ESD presentes no leite foram superiores em 0,17 e  
356 0,28 pontos percentuais, respectivamente, para os animais do tratamento *ad libitum* em

357 relação ao grupo de animais que recebeu dieta restrita. Os teores de gordura, lactose, ES  
358 e ureia presentes no leite não foram afetados pelo NA. Não houve interação entre OL x  
359 NA para os constituintes do leite analisados (Tabela 4).

360 A eficiência de conversão alimentar foi influenciada pela OL e pelo NA, sendo  
361 as multíparas mais eficientes que as primíparas, apresentando valores médios iguais a  
362 1,55 e 1,41 Kg leite/Kg MS ingerida, respectivamente. Já as vacas em consumo restrito  
363 apresentaram maior eficiência (1,64 kg leite/kg MS ingerida) em relação às de consumo  
364 *ad libitum* (1,32 kg leite/ kg MS ingerida). A eficiência alimentar para lactação também  
365 foi maior para os animais em consumo restrito (4,71 MJ leite/ kg MS ingerida) em  
366 relação aos animais que receberam dieta *ad libitum* (3,83 MJ leite/ kg MS ingerida).

367

#### 368 ***Digestibilidade e Balanço de nitrogênio***

369 Os coeficientes de digestibilidade da matéria seca (CDMS) e dos nutrientes não  
370 foram afetados pela OL e NA. Os valores médios observados para os coeficientes de  
371 digestibilidade da matéria seca (CDMS), matéria orgânica (CDMO), proteína bruta  
372 (CDPB), extrato etéreo (CDEE), fibra em detergente neutro (CDFDN), carboidratos não  
373 fibrosos (CDCNF), e energia bruta (CDEB) foram 707; 726; 762; 840; 573; 827 g/kg e  
374 711 J/MJ, respectivamente (Tabela 5).

375 O balanço de nitrogênio expresso em g/dia não foi afetado pela OL e não houve  
376 interação entre OL x NA. O efeito do NA foi significativo e os animais em consumo *ad*  
377 *libitum* retiveram mais nitrogênio (g/dia) do que os animais com alimentação restrita  
378 (Tabela 6). O nitrogênio ingerido (g/dia) foi 1,42 vezes maior para os animais do  
379 tratamento *ad libitum* (592 g/dia vs. 416 g/dia. As perdas de nitrogênio nas fezes (136  
380 g/dia vs. 101 g/dia); urina (224 g/dia vs. 179 g/dia) e leite (121 g/dia vs. 100 g/dia)  
381 foram 35,15%; 25,51% e 20,38% maiores para os animais que receberam alimentação

382 *ad libitum* em relação aos de consumo restrito (Tabela 6). A quantidade total de  
383 nitrogênio excretado (g/dia) e o nitrogênio retido (g/dia) foram 1,27 e 3,05 vezes  
384 maiores para as vacas do tratamento *ad libitum* e não foram influenciados pela ordem de  
385 lactação (Tabela 6).

386 As excreções de N fecal, N urinário e N no leite em porcentagem do nitrogênio  
387 ingerido não foram afetados pela OL. Já o NA afetou apenas a excreção de N no leite  
388 (%N ingerido), sendo maior para as vacas com consumo restrito (24,08%) em  
389 comparação ao consumo *ad libitum* (20,39%). O N total excretado (% N ing) e o N  
390 retido (% N ing) apresentaram tendência de serem maiores ( $P = 0,052$ ) para os animais  
391 do tratamento restrito (92,35 vs. 81,86%) e *ad libitum* (18,14% vs. 7,64%),  
392 respectivamente (Tabela 6).

393

#### 394 ***Parâmetros sanguíneos***

395 A OL não afetou as concentrações séricas de ureia, triglicérides, glicose, BHBA  
396 e AGNE (46,12 mg/dL; 13,49 mg/dL; 65,07mg/dL; 0,77 mmol/L; 0,30 mmol/L,  
397 respectivamente).

398 Houve efeito do NA sobre as concentrações de glicose e AGNE. A  
399 concentração média de glicose foi 5,46% maior para as vacas com alimentação *ad*  
400 *libitum* (66,80 mg/dL) em relação ao grupo com alimentação restrita (63,34 mg/dL). Os  
401 valores séricos de AGNE foram 69,57% maiores para os animais em restrição alimentar  
402 (0,39 mmol/L).

403 As concentrações de ureia, triglicérides e BHBA foram semelhantes entre os  
404 níveis de alimentação e a interação OL x NA não foi significativa para os parâmetros  
405 sanguíneos (Tabela 7).

406

### 407 ***Produção de metano e Balanço energético***

408 Não houve diferença na produção de CH<sub>4</sub> entre as primíparas e multíparas. Os  
409 animais em consumo *ad libitum* produziram 1,33 vezes mais CH<sub>4</sub> (g/dia) em  
410 comparação aos animais que receberam alimentação restrita (Tabela 8).

411 Não foi evidenciado efeito significativo entre os NA para a intensidade de  
412 emissão de CH<sub>4</sub> (19,0 g/kg MS ing; 20,7 g/kg de MO ing; 62,1 g/kg de FDN ing; 26,9  
413 g/kg de MS dig; 28,5 g/kg de MO dig; 108,5 g/kg de FDN dig; 14,4 g/kg de leite 4%;  
414 13,6 MJ/kg de leite, respectivamente, Tabela 8).

415 Quando a produção de CH<sub>4</sub> foi expressa em grama por quilo de leite produzido,  
416 os animais do tratamento *ad libitum* emitiram 13,32% a mais que os animais em  
417 consumo restrito. A produção de CH<sub>4</sub> expressa em relação à produção de leite corrigida  
418 para 4% de gordura tendeu ( $P = 0,062$ ) a ser maior para as multíparas (15,21 g/kg) em  
419 relação às primíparas (13,59 g/kg) (Tabela 8). Não foi observada interação entre OL x  
420 NA para os parâmetros relacionados a emissão de CH<sub>4</sub> (Tabela 8).

421 O peso vivo dos animais durante o ensaio de metabolismo tendeu ( $P = 0,052$ ) a  
422 ser superior para os animais em consumo *ad libitum* (535 vs. 496 kg, Tabela 8). O  
423 consumo de energia bruta expresso em MJ/dia foi semelhante entre as primíparas e  
424 multíparas, e 41,18% maior para os animais do tratamento *ad libitum* em relação aos do  
425 tratamento restrito. A interação OL x NA não foi significativa para o consumo de  
426 energia bruta (Tabela 9).

427 Os animais em consumo *ad libitum* perderam mais energia (97,43 MJ/dia) pelas  
428 fezes do que aqueles que receberam alimentação restrita (71,03 MJ/dia), independente  
429 da OL. O consumo de energia digestível (ED, MJ/dia) foi superior para as vacas que  
430 receberam alimentação *ad libitum* (244 MJ/dia vs. 171 MJ/dia), já a concentração de

431 energia digestível da dieta, expressa em MJ/kg de matéria seca, foi semelhante entre os  
432 tratamentos avaliados (Tabela 9).

433 A OL e o NA não afetaram as perdas de energia pela urina, mas observou-se que  
434 as vacas do tratamento *ad libitum* perderam 1,33 vezes mais energia na forma de CH<sub>4</sub>  
435 (ECH<sub>4</sub>, MJ/dia) em comparação às vacas do tratamento restrito (Tabela 9).

436 Os animais em restrição alimentar tiveram menor disponibilidade de energia  
437 metabolizável (EM, MJ/dia) em relação aos de consumo *ad libitum*, sendo as médias  
438 encontradas equivalentes a 145 MJ/dia e 211 MJ/dia, respectivamente. Não foi  
439 encontrado efeito significativo da OL e NA para a EM expressa em MJ/kg de matéria  
440 seca (Tabela 9).

441 A energia líquida de lactação (ELI, MJ/dia) não diferiu entre os tratamentos  
442 estudados (Tabela 9). O NA afetou a produção de calor expressa em MJ/dia e produção  
443 de calor em relação ao peso vivo metabólico (MJ/ PV<sup>0,75</sup>), sendo 26,94% e 21,18%  
444 maior para os animais que receberam alimentação *ad libitum*, respectivamente (Tabela  
445 9).

446 O BE (MJ/dia) tendeu ( $P = 0,052$ ) a ser superior para as primíparas em  
447 comparação às múltíparas (14,26 MJ/dia vs. -0,35 MJ/dia). Os animais do tratamento *ad*  
448 *libitum* apresentaram BE positivo e retiveram mais energia em relação aos do  
449 tratamento restrito (22,83 MJ/dia vs. -8,92 MJ/dia). Quando avaliada em percentagem  
450 da EB consumida (%CEB), o consumo da energia digestível e as perdas energéticas  
451 pelas fezes, urina e CH<sub>4</sub>, foram semelhantes entre os tratamentos estudados (71,08%,  
452 28,92%, 4,52%, 5,90%, respectivamente, Tabela 9).

453 Com relação à energia líquida da lactação (ELI) e a produção de calor expressas  
454 em percentagem da energia bruta consumida (%CEB), observou-se que os animais em  
455 restrição alimentar obtiveram valores superiores em 4,81 e 3,74 pontos percentuais,

456 respectivamente, em comparação aos animais do tratamento *ad libitum* (tabela 8). Já o  
457 BE (% CEB), diferiu para OL e NA ( $P < 0,001$ ). As primíparas (4,34% vs. -2,83%) e os  
458 animais em consumo *ad libitum* (6,02% vs. -4,51%) apresentaram valores superiores  
459 (Tabela 9).

460 No que se refere aos indicadores de eficiência de utilização da energia, não foi  
461 verificado efeito dos tratamentos avaliados sobre a metabolizabilidade da dieta ( $q$ ) e  
462 sobre a relação entre energia metabolizável e energia digestível (EM/ED). Os valores  
463 encontrados foram de 0,61 e 0,85, respectivamente (Tabela 9).

464 Houve efeito do NA sobre a %EM perdida na forma de calor (PC/CEM). Os  
465 animais em restrição alimentar apresentaram valor superior em 14,55% em comparação  
466 aos animais de consumo *ad libitum* (0,63 vs. 0,55), entretanto não se observou diferença  
467 entre as primíparas e múltíparas (Tabela 9).

468 A relação entre BE/CEM diferiu entre OL e NA, sendo verificados os maiores  
469 valores para as primíparas (0,07 vs. -0,05) e para os animais em regime de alimentação  
470 *ad libitum* (0,10 vs. -0,08). Já a relação ELI/CEM foi 1,29 vezes maior para os animais  
471 em consumo restrito (0,45 vs. 0,35) e não foi observada influência ( $P > 0,05$ ) da OL  
472 (Tabela 9). Não houve efeito de interação entre OL x NA para as variáveis referentes à  
473 partição energética (Tabela 9).

474

### 475 ***Exigências Energéticas***

476 Os valores de exigência de EMm e ELM encontradas para vacas Girolando no  
477 terço inicial da lactação foram equivalentes a 0,55 MJ/Kg  $PV^{0,75}$  e 0,35 ELM MJ/Kg  
478  $PV^{0,75}$ , respectivamente. Já a eficiência de utilização da energia metabolizável para  
479 lactação ( $kl$ ) foi de 0,64 (Gráfico 1).

480

## DISCUSSÕES

481

### 482 *Consumo, Desempenho e Eficiência Alimentar*

483

484

485

486

487

A semelhança no CMS e nutrientes entre primíparas e multíparas contrariam os resultados de Dado e Allen (1994), que observaram maiores CMS para vacas multíparas, em relação às primíparas. Os resultados desse estudo podem ser justificados devido às primíparas terem apresentado idade ao parto tardia ( $40 \pm 6,76$  meses), estando próximas de atingirem a maturidade fisiológica.

488

489

490

491

492

493

494

A diferença obtida no PV referente à OL pode ser explicada pelo fato das vacas primíparas não terem atingido o peso adulto e terem sido submetidas à restrição alimentar menor (15%) quando comparadas as multíparas (20%), favorecendo o ganho de peso durante o período experimental. Maekawa et al. (2002) relataram que existe correlação positiva entre CMS e PV. No presente trabalho os animais em consumo *ad libitum* por consumirem maior quantidade de MS, apresentaram maior ganho de peso em relação aos de consumo restrito.

495

496

497

498

499

500

501

502

503

As vacas primíparas necessitam de nutrientes para a manutenção, crescimento e produção de leite. No presente estudo, os resultados de produção de leite ( $\text{kg dia}^{-1}$ ) e leite corrigido para gordura (4%), referentes à OL (18,36%; 14,39%, respectivamente) foram próximos aos reportados por Maekawa et al. (2002) que, ao avaliarem o efeito da OL sobre o desempenho produtivo, verificaram que vacas multíparas produziram 17% a mais de leite ( $\text{kg dia}^{-1}$ ) e leite corrigido para 4% de gordura do que as vacas primíparas. A média de produção de leite das primíparas ( $21,44 \text{ kg dia}^{-1}$ ) foi semelhante ao encontrado por Melo et al. (2015), os quais reportaram média de  $20,25 \text{ kg dia}^{-1}$  para vacas primíparas Girolando (3/4 H x 1/4 Gir).

504

505

A ingestão de matéria seca determina a quantidade de nutrientes para que o animal possa manter a saúde e a produção (NRC, 2001). Os animais em restrição



506 alimentar mantiveram a produção de leite, mas perderam peso durante o período  
507 experimental, indicando mobilização das reservas corporais para atender a demanda de  
508 nutrientes para manutenção e produção. Moe et al. (1971) afirmaram que a produção de  
509 leite durante o início da lactação pode continuar alta apesar da ingestão insuficiente de  
510 energia na dieta, desta forma, as vacas utilizam as reservas de tecido corporal para  
511 suprir o déficit de energia.

512 Para Jenkins e McGuire (2006) os fatores que exercem influência sobre a  
513 composição do leite são: genética, raça, ambiente, estágio de lactação, paridade e  
514 nutrição da vaca. Embora a OL tenha influenciado a produção dos animais, os  
515 constituintes do leite não foram alterados.

516 Para Gabbi et al. (2015) a restrição alimentar impacta negativamente a produção  
517 e a concentração dos componentes do leite, principalmente proteínas, sendo  
518 influenciadas pela severidade e duração da restrição. No presente trabalho a restrição  
519 alimentar não teve impacto sobre a produção, mas resultou em menor aporte de  
520 nutrientes para a síntese de leite, justificando a menor concentração de proteína (2,84%)  
521 e ESD (8,32%).

522 Hongerholt e Muller (1998) afirmam que com o aumento de concentrado na  
523 dieta, há um estímulo para produção de ácido propiônico pelos microrganismos do  
524 rúmen, permitindo o aumento da disponibilidade de energia, favorecendo a produção de  
525 proteína microbiana e, conseqüentemente maior absorção de aminoácidos no intestino  
526 delgado, que irão servir de substrato para síntese de proteína do leite. Nesse estudo,  
527 verificou-se menor consumo de PB para os animais em restrição alimentar (2,59  
528 kg/dia), o que pode ter ocasionado menor aporte proteico para a proteína do leite.

529 O teor de lactose do leite é o componente menos variável, mantendo-se  
530 constante (4,85%), ocorrendo pequenas diferenças em relação à proteína do leite e à

531 raça dos animais. Os resultados obtidos nesse trabalho demonstram que essa variável foi  
532 sintetizada pela glândula mamária das vacas em quantidades iguais independente dos  
533 tratamentos utilizados, sendo encontrada média (4,59%) próxima ao valor citado pelo  
534 NRC (2001). Entretanto, esse comportamento não corrobora com os resultados obtidos  
535 por Agenäs et al. (2003), os quais relataram decréscimo no teor de lactose e proteína do  
536 leite ao submeter vacas primíparas, leiteiras (Sueca vermelha e branca) a privação total  
537 de alimentos por um período de 48h.

538 De acordo com Melo et al. (2015), níveis de ureia no leite abaixo de 12 mg/dL e  
539 acima de 18 mg/dL indicam manejo nutricional inadequado. No presente trabalho, a  
540 concentração média de ureia no leite (21,5 mg/dL) foi elevada, o que pode estar  
541 associado ao teor proteico da dieta, uma vez que foi formulada para animais de 35kg de  
542 leite, com aproximadamente 19% de PB. De acordo com os dados obtidos nesse  
543 experimento, o teor de proteína recomendada pelo NRC (2001) seria de  
544 aproximadamente 17% para vacas Girolando  $\frac{3}{4}$  no terço inicial da lactação.

545 Wang et al. (2007) ao avaliarem o efeito de dietas com quatro níveis de proteína  
546 metabolizável (8,2; 8,9; 9,7 e 10,3% com base na MS) na produção de leite e utilização  
547 do nitrogênio, verificaram que com o aumento do nível de proteína metabolizável, as  
548 concentrações de ureia aumentaram linearmente no soro, urina e leite.

549 A menor ECA das primíparas em relação às múltíparas (Tabela 4) foi também  
550 reportada por Hutjens (2005) e Hoffman et al. (2007), estando relacionada à parte dos  
551 nutrientes ingeridos que é destinada ao crescimento.

552 Embora os animais em consumo restrito tenham sido mais eficientes, deve-se  
553 considerar que houve mobilização das reservas corporais para que mantivessem a  
554 produção de leite. Campos et al. (2015) afirmam que a ECA não leva em consideração a  
555 mobilização de reservas corporais, consequentemente, animais que perdem condição

556 corporal para produção de leite demonstram ser mais eficientes. O valor obtido de ECA  
557 obtido nesse estudo para vacas primíparas foi inferior em 0,14 unidades em relação às  
558 múltíparas, estando de acordo com o reportado por Hutjens (2005), o qual relata  
559 diferença de 0,1 a 0,2 unidades entre as duas categorias.

560

### 561 ***Digestibilidade e Partição de nitrogênio***

562 Para Tyrrell e Moe (1975) a digestibilidade de dietas para vacas de leite é  
563 reduzida com o aumento no consumo de matéria seca. No presente estudo, o aumento  
564 no CMS entre os NA não foi capaz de alterar o CDMS e nutrientes. Long et al. (2004)  
565 observaram decréscimo na digestibilidade em função do aumento nos níveis de ingestão  
566 de MS, o que pode ser explicado devido a maior taxa de passagem e menor tempo de  
567 exposição dos nutrientes aos microrganismos do rúmen (NRC, 2001).

568 De acordo com Conrad et al. (1964), dietas que apresentam coeficiente de  
569 digestibilidade superior a 66% têm o CMS controlado por fatores fisiológicos, o que  
570 possivelmente ocorreu no presente trabalho, visto que o CDMS médio foi de 70,7%.  
571 Além disso, as vacas do grupo primíparas *ad libitum* e múltíparas *ad libitum*  
572 consumiram, respectivamente, 7,82 e 2,72% a mais do que o recomendado pelo NRC  
573 (2001). Desta forma, as vacas consumiram para atender a demanda de energia e a  
574 ingestão pode ter sido limitada pelo potencial genético e estado fisiológico (Mertens,  
575 1994).

576 A semelhança encontrada para as variáveis de N ingerido, excreção total e  
577 retenção de N, referentes à OL, está em conformidade com o CMS observado entre  
578 primíparas e múltíparas. No entanto, não corroboram com os resultados encontrados por  
579 Marret et al. (2017), que ao avaliarem a partição de N em vacas lactantes, primíparas e

580 multíparas, observaram que a ingestão de N e a quantidade total de N do leite, fezes,  
581 urina e retido, foram maiores para as vacas multíparas em relação as primíparas.

582 As maiores excreções de N nas fezes, urina e leite (g/dia), observados nos  
583 animais de consumo *ad libitum* estão relacionadas à maior ingestão de N (592 g/dia).  
584 Segundo Van Soest (1994) o aumento na ingestão de N está associado à maior produção  
585 de ureia no fígado, e conseqüentemente maior excreção de ureia via urina. (Brito e  
586 Broderick (2006) ao reduzirem a quantidade de N da dieta, observaram diminuição na  
587 excreção de N urinário. Wright et al. (1998) testaram o efeito de três concentrações de  
588 proteína não degradável no rúmen e dois níveis de restrição alimentar (10 e 20%) com o  
589 objetivo de estudar a partição de N em vacas da raça Holandês. Os autores constataram  
590 balanço de nitrogênio negativo para as dietas com baixa concentração de proteína nos  
591 níveis de restrição de 20 e 10% (-24 e -11 kg/dia, respectivamente). No presente estudo,  
592 a restrição de 15 e 20% para as primíparas e multíparas, respectivamente, não ocasionou  
593 balanço de N negativo, mas reduziu os valores de retenção.

594 Long et al. (2004) ao avaliarem o efeito dos níveis de ingestão alimentar sobre o  
595 balanço de N, verificaram aumento no balanço de N a medida que o CMS aumentou de  
596 30 para 90% em vacas da raça Yak (*Bos gunnens*). Esses resultados corroboram com o  
597 presente trabalho, pois os animais em consumo *ad libitum* apresentaram maior retenção  
598 de N. Entretanto, foram observadas maiores perdas de N dietético, o que pode estar  
599 associado com a produção de leite desses animais, visto que a média de produção obtida  
600 nesse estudo encontra-se abaixo (24,45 kg/dia) do preconizado na formulação da dieta  
601 experimental (35 kg/dia).

602 Para Huhtanen et al. (2015) as concentrações de ureia no leite são influenciadas pela  
603 quantidade e ingestão de proteína bruta na dieta, podendo ser utilizado como indicador  
604 da eficiência de utilização de N para produção de leite em vacas em lactação

605 ( $N_{\text{leite}}/\%N_{\text{ing}}$ ). No presente estudo, a concentração de ureia no leite foi semelhante entre  
606 os tratamentos avaliados. No entanto, os animais em consumo restrito foram mais  
607 eficientes na utilização de N ( $24,08\% N_{\text{leite}}/\%N_{\text{ing}}$ ), o que pode ser explicado por terem  
608 mantido a produção de leite, com menor CMS, menor retenção e excreção de N.  
609 Entretanto, deve-se levar em consideração que as vacas mobilizam gordura corporal  
610 para compensar o déficit de energia (van Knegsel et al., 2007), o que possivelmente  
611 ocorreu no período experimental, visto que os animais em restrição obtiveram uma  
612 perda de peso equivalente a 0,12 kg/dia.

613

#### 614 *Parâmetros sanguíneos*

615 Para Russel e Wright (1983) a concentração de AGNE no plasma apresenta  
616 relação com as mudanças no consumo de energia. Pode ser utilizada para predizer o  
617 status energético dos animais em diferentes estados fisiológicos. Os resultados obtidos  
618 para as concentrações de AGNE indicam que os animais em restrição alimentar  
619 mobilizaram reservas corporais a fim de suprir o déficit energético para manutenção e  
620 produção de leite, já que a ingestão de nutrientes foi abaixo das exigências dos animais  
621 (Bjerre-Harpøth et al., 2012). Os valores observados de AGNE no plasma das vacas em  
622 restrição estão acima (0,39 mmol/L) do indicado por Cozzi et al. (2011), que referencia  
623 o valor de 0,22 mmol/L para vacas em início de lactação. Dubuc et al. (2010)  
624 reportaram que concentração de AGNE acima de 0,6 mmol/L constitui um fator risco  
625 para infecção uterina, o que não foi evidenciado no presente trabalho.

626 A intensidade do BEN está relacionada à intensidade de mobilização de AGNE e  
627 consequentemente na produção de BHBA (Ospina et al., 2010; Li et al., 2012). Desta  
628 forma, pode-se afirmar que o efeito da restrição alimentar sobre o BEN não foi severo,  
629 pois o valor médio para a concentração do BHBA encontrado nesse trabalho (0,77

630 mmol/L) foi abaixo do reportado por Li et al. (2012). Os referidos autores relatam que  
631 valores de BHBA superiores a 1,2 mmol/L indica diminuição da saúde do rebanho, com  
632 quadro de cetose subclínica.

633 Embora a glicose seja a variável de menor representatividade do metabolismo  
634 energético em ruminantes, concentrações baixas desse metabólito podem indicar  
635 carência energética severa (Russel and Wright, 1983). No entanto, no presente estudo a  
636 menor concentração de glicose para os animais em consumo restrito (63,34 mg/dL) está  
637 acima do valor equivalente a 57,66 mg/dL, referenciado por Cozzi et al. (2011) para  
638 vacas da raça Holandês no início da lactação.

639 Além disso, menores concentrações de glicose são esperadas no terço inicial da  
640 lactação, já que após o parto, a glândula mamária demanda grande quantidade de  
641 glicose para produção de leite.

642 Resultados semelhantes foram encontrados por Yambayamba et al. (1996) ao  
643 submeterem novilhas (Hereford) à restrição alimentar, com o objetivo de verificar as  
644 respostas fisiológicas associadas ao crescimento. Os autores supracitados verificaram  
645 que a restrição resultou no aumento das concentrações plasmáticas de AGNE (538,2  
646 mEq/mL) e diminuição no teor de glicose (87,30 mg/dL).

647 A concentração de ureia sanguínea serve como um indicador do metabolismo  
648 proteico dos animais. O valor médio de ureia obtido nesse estudo (46,4 mg/dL)  
649 encontra-se acima do prescrito por Cozzi et al. (2011), o que indica ineficiência do uso  
650 de N proveniente da dieta.

651

### 652 ***Produção de CH<sub>4</sub> e Balanço energético***

653 O CH<sub>4</sub> é um produto final da fermentação do rúmen e representa uma perda de  
654 6% da ingestão de energia bruta (Charmley et al., 2016). A semelhança entre a produção

655 de CH<sub>4</sub> entre primíparas e multíparas deve-se ao fato da ingestão de MS ter apresentado  
656 o mesmo comportamento. Diferentemente do observado nesse trabalho, Grandl et al.  
657 (2016) com o objetivo de avaliar o efeito da idade na produção de CH<sub>4</sub> em vacas da raça  
658 Pardo Suíço, verificaram que o rendimento de emissão de CH<sub>4</sub> expresso em g/kg de  
659 FDN ingerido foi menor nas novilhas em relação as multíparas. Observaram pico na  
660 emissão de CH<sub>4</sub> em vacas de 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> lactação e níveis mais baixos em vacas mais velhas  
661 (6,5 a 10 anos; 5<sup>a</sup> – 7<sup>a</sup> lactação). Já Ramírez-Restrepo et al. (2015) não encontraram  
662 diferença significativa para o rendimento de CH<sub>4</sub> (g/kg de MS) entre novilhas e vacas  
663 adultas (Jersey), em avaliação em câmaras respirométricas. Os valores médios  
664 observados pelos autores (24,5 ± 0,42 vs. 23,8 ± 0,43) para CH<sub>4</sub> (g/kg de MS) foram  
665 acima do encontrado nesse trabalho (19,13 vs. 18,85) para primíparas e multíparas,  
666 respectivamente.

667 Gerber et al. (2013) afirmam que a ingestão de MS é uma variável importante  
668 para predizer as emissões de CH<sub>4</sub> entérico. Os resultados desse trabalho demonstraram  
669 que a maior produção de CH<sub>4</sub> (g/dia) observada em animais de consumo *ad libitum* está  
670 associada à maior ingestão de alimentos, visto que houve maior quantidade de  
671 substratos a serem fermentados pelos microrganismos do rúmen (Knapp et al., 2014).

672 O rendimento de emissão de CH<sub>4</sub> (g/kg de MS ingerida) diminui à medida que a  
673 ingestão aumenta (Knapp et al., 2014). Apesar de o NA ter influenciado a produção de  
674 CH<sub>4</sub>, as proporções de CH<sub>4</sub>/kg MS ingerida e digerida não foram alterados. No presente  
675 trabalho, a semelhança do CDMS entre os tratamentos demonstram que o alimento foi  
676 digerido em iguais proporções. Desta forma, justificam-se os resultados obtidos para o  
677 rendimento de CH<sub>4</sub>, uma vez que o tempo de ação dos microrganismos sobre o alimento  
678 ingerido foi o mesmo para todos os animais experimentais.

679 A redução na intensidade de CH<sub>4</sub> (g/kg de leite) para os animais em consumo  
680 restrito indica que esse grupo obteve maior eficiência na produção de leite (Boadi et al.,  
681 2004). Isso possivelmente está relacionado ao fato desses animais terem consumido  
682 menor quantidade de MS e mantido a produção de leite com baixa emissão de CH<sub>4</sub>.

683 Hynes et al. (2016) ao avaliarem o efeito do aumento de proteína bruta na dieta  
684 de vacas em lactação de dois tipos de genótipos (Holandês e Holandês x Sueca  
685 Vermelha), não verificaram efeito dos níveis de proteína na produção e rendimento de  
686 CH<sub>4</sub> (g/dia; g/kg MS). O genótipo dos animais também não exerceu influência nos  
687 parâmetros de emissão de CH<sub>4</sub> entérico. Embora os dados referentes a emissões de  
688 metano de bovinos em condições tropicais sejam escassos, trabalhos desenvolvidos no  
689 Brasil com animais Girolando, apresentaram valores para a produção de CH<sub>4</sub> (g/dia) e  
690 (g/L de leite) equivalente a 331 e 25,3 respectivamente (Primavesi et al., 2004). O  
691 resultado referente à emissão de CH<sub>4</sub> obtido nesse trabalho (358 g/dia) para os animais  
692 de consumo *ad libitum* foi semelhante aos autores supracitados. Pedreira et al. (2009)  
693 verificaram que vacas em lactação da raça Holandês emitem mais CH<sub>4</sub> (299,3 g/dia) do  
694 que vacas Girolando (264,2 g/dia).

695 Os dados observados nesse trabalho e os referenciados indicam diferenças na  
696 emissão de CH<sub>4</sub> entre vacas Girolando e Holandês e apontam para a necessidade de  
697 mais estudos envolvendo animais adaptados às condições tropicais.

698 Os resultados obtidos referentes ao consumo de EB (MJ/dia) para os tratamentos  
699 avaliados estão em conformidade com o CMS (Kg MS/dia). O maior consumo de EB  
700 pelos animais do tratamento *ad libitum* refletiu em maior ingestão de ED e EM, assim  
701 como maior perda de energia via fezes e CH<sub>4</sub>, e maior produção de calor.

702 Segundo Ramin e Huhtanen (2013) as perdas pela produção de CH<sub>4</sub> tem impacto  
703 negativo na produtividade, visto que representam considerável perda de energia do



704 animal para o meio ambiente. A maior perda de energia na forma de CH<sub>4</sub> para as vacas  
705 em consumo *ad libitum*, está relacionada ao maior aporte de substratos para  
706 fermentação ruminal. Já, quando expressa em porcentagem do CEB, a perda de CH<sub>4</sub> foi  
707 semelhante entre os tratamentos. Hristov et al. (2013) relataram que as emissões de CH<sub>4</sub>  
708 representam perda de 5 a 7% em relação à EB consumida. Já o IPCC (2006) considera  
709 como valor de referência 6,5%. No presente trabalho, o valor médio da ECH<sub>4</sub> em  
710 relação à %CEB foi equivalente a 5,9% para todos os tratamentos, estando dentro da  
711 faixa relatada pelos autores supracitados.

712         Embora os animais do tratamento *ad libitum* tenham excretado maior quantidade  
713 de N via urina, a energia urinária manteve-se semelhante entre os tratamentos. No  
714 entanto, a perda de urina referente ao CEB está em conformidade com a excreção de N  
715 em relação à porcentagem de N ingerido, visto que não houve diferença entre os  
716 tratamentos. A perda energética via urina de 4,5% encontrada nesse trabalho corrobora  
717 com o sugerido por Van Soest (1994), o qual preconiza valores de 3 a 5%.

718         As vacas em consumo *ad libitum* produziram mais calor devido ao maior  
719 incremento calórico, proveniente da digestão, fermentação e absorção dos componentes  
720 da dieta (NRC, 1981). Referente à PC em função do CEB, os animais em restrição  
721 alimentar apresentaram maior porcentagem, visto que tiveram menor disponibilidade de  
722 energia por meio da dieta. Segundo Marett et al. (2017) a energia perdida na forma de  
723 PC serve como componente na determinação da eficiência de utilização da energia, uma  
724 vez que a perda de energia é importante para a medição e compreensão biológica da  
725 conversão alimentar.

726         Os animais do tratamento *ad libitum* apresentaram balanço energético positivo  
727 devido a maior disponibilidade de EM. Já os animais em restrição alimentar, por  
728 consumirem menor quantidade de MS, o aporte de nutrientes não foi suficiente para

729 suprir a produção de leite durante o terço inicial da lactação, o que levou a mobilização  
730 de reservas corporais.

731 Segundo Geay (1984) a metabolizabilidade da dieta (EM/EB;  $q$ ) pode ser  
732 influenciada por diversos fatores, tais como: aumento da taxa de passagem, a  
733 diminuição da digestão dos carboidratos, diminuição da digestibilidade e aumento das  
734 perdas fecais. Desta forma, a semelhança obtida para o valor de  $q$  entre os tratamentos,  
735 pode estar relacionada ao CDMS, o qual obteve o mesmo comportamento.

736 O valor médio (0,85) encontrado, no presente estudo, para eficiência de  
737 conversão da ED em EM (EM/ED) foi semelhante aos relatados pelo ARC (1980),  
738 CSIRO (1990) e AFRC (1993), os quais indicam valores de 0,82; 0,81 e 0,81 a 0,86,  
739 respectivamente.

740 Os animais em restrição apresentaram maior eficiência de utilização para ELI,  
741 uma vez que tiveram menor disponibilidade de EM, mas conseguiram manter a  
742 produção de leite, embora tenha ocorrido mobilização de reserva corporal.

743 Belyea and Adams, (1990) reportaram sobre alta correlação entre a PC em  
744 relação ao CEM e a energia disponível para produção de leite. No presente trabalho,  
745 observou-se para os animais em restrição, que 14,55% do CEM foi perdida na forma de  
746 calor, acarretando em menor disponibilidade de energia para produção, e propiciando o  
747 BEN observado para esse grupo experimental.

748 A relação entre BE/CEM foi maior para as primíparas, a qual apresentou relação  
749 positiva. Esse comportamento dos dados pode estar associado ao fato das primíparas  
750 terem sido submetidas à uma restrição menor (15%) em comparação às múltíparas  
751 (20%).

752

753 ***Exigências Energéticas***

754 As respostas obtidas para EMm e ELM forma próximas aos valores de 0,52 e  
755 0,33 MJ/kg PV<sup>0,75</sup> das recomendações do NRC (2001) para vacas em lactação. A  
756 eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação (*KI*) foi semelhante ao  
757 referenciado pelo NRC (2001), o qual indica valor de 0,64.

758 Oliveira (2015) reportou diferenças entre vacas leiteiras *Bos taurus taurus* e  
759 cruzadas *Bos taurus taurus* × *Bos taurus indicus*, em relação a EMm e *kl*. O autor  
760 relatou valor de 0,56 MJ/kg PV<sup>0,75</sup> para EMm e 0,53 para a variável *kl* em vacas  
761 cruzadas. Os resultados supracitados para EMm encontra-se próximo ao observado  
762 nesse trabalho, no entanto o valor de *kl* estão acima do indicado pelo autor.

763

764

## CONCLUSÕES

765 Os resultados suprem a escassez de dados sobre exigências nutricionais,  
766 metabolismo energético, partição de N e produção de CH<sub>4</sub> entérico em vacas Girolando  
767 (¾ H x ¼ G) e podem nortear o desenvolvimento de práticas de manejo alimentar e  
768 compor banco de dados para estabelecer as exigências nutricionais de bovinos leiteiros  
769 criados em condições tropicais.

770 A restrição alimentar (15% P; 20% M) não afeta a produção de leite em vacas  
771 Girolando (¾ H x ¼ G) no terço inicial da lactação, mas reduz os teores de proteína e  
772 ESD do leite, com elevação dos níveis de AGNE no plasma sanguíneo.

773 Vacas Girolando, multíparas, no terço inicial da lactação apresentam maior  
774 produção de leite e melhor conversão alimentar em relação às primíparas.

775 A OL não afeta a produção de CH<sub>4</sub> de vacas Girolando no terço inicial da  
776 lactação. Vacas com maior CMS emitem maior quantidade de CH<sub>4</sub> entérico (g/dia).  
777 Animais Girolando durante o terço inicial da lactação, em restrição alimentar,  
778 apresentam menor intensidade de emissão de CH<sub>4</sub>. Os dados obtidos para a emissão de

779 CH<sub>4</sub> entérico não são superiores aos valores reportados na literatura para vacas da raça  
780 Holandês.

781 O nível de alimentação e OL afeta o BE de vacas Girolando no terço inicial da  
782 lactação. As exigências de EMm, ELm e a *kl* são próximos aos recomendados pelo  
783 NRC (2001).

784

## 785 REFERÊNCIAS

786 AFRC. 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants.

787 Agenäs, S., K. Dahlborn, and K. Holtenius. 2003. Changes in metabolism and milk  
788 production during and after feed deprivation in primiparous cows selected for  
789 different milk fat content. *Livest. Prod. Sci.* 83:153–164. doi:10.1016/S0301-  
790 6226(03)00096-4.

791 Aguiar, M. De, R. Cembranelli, and L.D.C. Paiva. No Title.

792 AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of AOAC International.

793 Arndt, C., J.M. Powell, M.J. Aguerre, P.M. Crump, and M.A. Wattiaux. 2015. Feed  
794 conversion efficiency in dairy cows: Repeatability, variation in digestion and  
795 metabolism of energy and nitrogen, and ruminal methanogens. *J. Dairy Sci.*  
796 98:3938–3950. doi:10.3168/jds.2014-8449.

797 Belyea, R.L., and M.W. Adams. 1990. Energy and nitrogen utilization of high versus  
798 low producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 73:1023–1030. doi:10.3168/jds.S0022-  
799 0302(90)78761-9.

800 Bjerre-Harpøth, V., N.C. Friggens, V.M. Thorup, T. Larsen, B.M. Damgaard, K.L.  
801 Ingvarsten, and K.M. Moyes. 2012. Metabolic and production profiles of dairy  
802 cows in response to decreased nutrient density to increase physiological imbalance  
803 at different stages of lactation. *J. Dairy Sci.* 95:2362–2380. doi:10.3168/jds.2011-

- 804 4419.
- 805 Boadi, D., C. Benchaar, J. Chiquette, and D. Masse. 2004. Mitigation strategies to  
806 reduce enteric methane emissions from dairy cows: update review. *Can. J. Anim.*  
807 *Sci.* 84:319–335. doi:10.4141/A03-109.
- 808 Brasil, R.B., M. Antônio, T.S. Carvalho, J.F. Cabral, J.C. Garcia, E.S. Nicolau, B.S.  
809 Neves, and M.E. Lage. 2015. Chemical profile , somatic cell count and milk  
810 production of Holstein , Girolando and Jersolando cows. *African J. Agriciultural*  
811 *10:748–754.* doi:10.5897/AJAR2014.9207.
- 812 Brito, A.F., and G.A. Broderick. 2006. Effect of Varying Dietary Ratios of Alfalfa  
813 Silage to Corn Silage on Production and Nitrogen Utilization in Lactating Dairy  
814 Cows. *J. Dairy Sci.* 89:3924–3938. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72435-3.
- 815 Campos, M.M., J.A.M. Lima, and F.S. Machado. 2015. Tecnologias de precisão na  
816 avaliação da eficiência alimentar 73–85.
- 817 Canaza-Cayo, A.W., P.S. Lopes, J.A. Cobuci, M.F. Martins, and M.V.G.B. d Silva.  
818 2017. Genetic parameters of milk production and reproduction traits of Girolando  
819 cattle in Brazil. *Ital. J. Anim. Sci.* 0:1–9. doi:10.1080/1828051X.2017.1335180.
- 820 Charmley, E., S.R.O. Williams, P.J. Moate, R.S. Hegarty, R.M. Herd, V.H. Oddy, P.  
821 Reyenga, K.M. Staunton, A. Anderson, and M.C. Hannah. 2016. A universal  
822 equation to predict methane production of forage-fed cattle in Australia. *Anim.*  
823 *Prod. Sci.* 56:169–180. doi:10.1071/AN15365.
- 824 Conrad, H.R., A.D. Pratt, and J.W. Hibbs. 1964. Regulation of Feed Intake in Dairy  
825 Cows. I. Change in Importance of Physical and Physiological Factors with  
826 Increasing Digestibility. *J. Dairy Sci.* 47:54–62. doi:10.3168/jds.S0022-  
827 0302(64)88581-7.
- 828 Cozzi, G., L. Ravarotto, F. Gottardo, A.L. Stefani, B. Contiero, L. Moro, M. Brscic, and

- 829 P. Dalvit. 2011. Short communication: Reference values for blood parameters in  
830 Holstein dairy cows: Effects of parity, stage of lactation, and season of production.  
831 *J. Dairy Sci.* 94:3895–3901. doi:10.3168/jds.2010-3687.
- 832 Cunha, C.S., N.L. Lopes, C.M. Veloso, L.A.G. Jacovine, T.R. Tomich, L.G.R. Pereira,  
833 and M.I. Marcondes. 2016. Greenhouse gases inventory and carbon balance of two  
834 dairy systems obtained from two methane-estimation methods. *Sci. Total Environ.*  
835 571:744–754. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.07.046.
- 836 Dado, R.G., and M.S. Allen. 1994. Variation in and Relationships Among Feeding,  
837 Chewing, and Drinking Variables for Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 77:132–  
838 144. doi:10.3168/jds.S0022-0302(94)76936-8.
- 839 Detmann, E., and S.C. Valadares Filho. 2010. On the estimation of non-fibrous  
840 carbohydrates in feeds and diets. *Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec.* 62:980–  
841 984. doi:10.1590/S0102-09352010000400030.
- 842 Dubuc, J., T.F. Duffield, K.E. Leslie, J.S. Walton, and S.J. LeBlanc. 2010. Risk factors  
843 for postpartum uterine diseases in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93:5764–5771.  
844 doi:10.3168/jds.2010-3429.
- 845 Gabbi, A.M., C.M. McManus, M.B. Zanela, M.T. Stumpf, R.S. Barbosa, V. Fruscalso,  
846 A. Thaler Neto, F.A. Schmidt, and V. Fischer. 2016. Milk traits of lactating cows  
847 submitted to feed restriction. *Trop. Anim. Health Prod.* 48:37–43.  
848 doi:10.1007/s11250-015-0916-2.
- 849 Geay, Y. 1984. Energy and protein utilization in growing cattle.. *J. Anim. Sci.* 58:766–  
850 778.
- 851 Gerber, P.J., A.N. Hristov, B. Henderson, H. Makkar, J. Oh, C. Lee, R. Meinen, F.  
852 Montes, T. Ott, J. Firkins, A. Rotz, C. Dell, A.T. Adesogan, W.Z. Yang, J.M.  
853 Tricarico, E. Kebreab, G. Waghorn, J. Dijkstra, and S. Oosting. 2013. Technical

- 854 options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from  
855 livestock: a review.. *Animal* 7 Suppl 2:220–234.  
856 doi:10.1017/S1751731113000876.
- 857 Grandl, F., S.L. Amelchanka, M. Furger, M. Clauss, J.O. Zeitz, M. Kreuzer, and A.  
858 Schwarm. 2016. Biological implications of longevity in dairy cows: 2. Changes in  
859 methane emissions and efficiency with age. *J. Dairy Sci.* 99:3472–3485.  
860 doi:10.3168/jds.2015-10262.
- 861 Hoffman, P.C., C.R. Simson, and M. Wattiaux. 2007. Limit Feeding of Gravid Holstein  
862 Heifers: Effect on Growth, Manure Nutrient Excretion, and Subsequent Early  
863 Lactation Performance. *J. Dairy Sci.* 90:946–954. doi:10.3168/jds.S0022-  
864 0302(07)71578-3.
- 865 Hongerholt, D.D., and L.D. Muller. 1998. Supplementation of rumen-undegradable  
866 protein to the diets of early lactation Holstein cows on grass pasture.. *J. Dairy Sci.*  
867 81:2204–14. doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)75799-6.
- 868 Hristov, A.N., J. Oh, J.L. Firkins, J. Dijkstra, E. Kebreab, G. Waghorn, H.P.S. Makkar,  
869 A.T. Adesogan, W. Yang, C. Lee, P.J. Gerber, B. Henderson, and J.M. Tricarico.  
870 2013. SPECIAL TOPICS-Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from  
871 animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J. Anim. Sci.*  
872 91:5045–5069. doi:10.2527/jas2013-6583.
- 873 Huhtanen, P., E.H. Cabezas-Garcia, S.J. Krizsan, and K.J. Shingfield. 2015. Evaluation  
874 of between-cow variation in milk urea and rumen ammonia nitrogen concentrations  
875 and the association with nitrogen utilization and diet digestibility in lactating cows.  
876 *J. Dairy Sci.* 98:3182–3196. doi:10.3168/jds.2014-8215.
- 877 Hutjens, M.F. 2005. Dairy Efficiency and Dry Matter Intake. 7th West. Dairy Manag.  
878 Conf. 71–76.

- 879 Hynes, D.N., S. Stergiadis, A. Gordon, and T. Yan. 2016. Effects of concentrate crude  
880 protein content on nutrient digestibility, energy utilization, and methane emissions  
881 in lactating dairy cows fed fresh-cut perennial grass. *J. Dairy Sci.* 99:8858–8866.  
882 doi:10.3168/jds.2016-11509.
- 883 Jenkins, T.C., and M.A. McGuire. 2006. Major Advances in Nutrition: Impact on Milk  
884 Composition. *J. Dairy Sci.* 89:1302–1310. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72198-  
885 1.
- 886 Knapp, J.R., G.L. Laur, P.A. Vadas, W.P. Weiss, and J.M. Tricarico. 2014. Invited  
887 review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities  
888 and impact of reducing emissions. *J. Dairy Sci.* 97:3231–3261.  
889 doi:10.3168/jds.2013-7234.
- 890 van Knegsel, A.T.M., H. van den Brand, J. Dijkstra, W.M. van Straalen, M.J.W.  
891 Heetkamp, S. Tamminga, and B. Kemp. 2007. Dietary Energy Source in Dairy  
892 Cows in Early Lactation: Energy Partitioning and Milk Composition. *J. Dairy Sci.*  
893 90:1467–1476. doi:10.3168/jds.S0022-0302(07)71632-6.
- 894 Laurance, W.F., J. Sayer, and K.G. Cassman. 2014. Agricultural expansion and its  
895 impacts on tropical nature. *Trends Ecol. Evol.* 29:107–116.  
896 doi:10.1016/j.tree.2013.12.001.
- 897 Li, P., X.B. Li, S.X. Fu, C.C. Wu, X.X. Wang, G.J. Yu, M. Long, Z. Wang, and G.W.  
898 Liu. 2012. Alterations of fatty acid  $\beta$ -oxidation capability in the liver of ketotic  
899 cows. *J. Dairy Sci.* 95:1759–1766. doi:10.3168/jds.2011-4580.
- 900 Long, R.J., S.K. Dong, Z.Z. Hu, J.J. Shi, Q.M. Dong, and X.T. Han. 2004. Digestibility,  
901 nutrient balance and urinary purine derivative excretion in dry yak cows fed oat  
902 hay at different levels of intake. *Livest. Prod. Sci.* 88:27–32.  
903 doi:10.1016/j.livprodsci.2003.11.004.



- 904 Machado, F.S., T.R. Tomich, A.L. Ferreira, L.F.L. Cavalcanti, M.M. Campos, C.A.V.  
905 Paiva, M.N. Ribas, and L.G.R. Pereira. 2016. Technical note: A facility for  
906 respiration measurements in cattle. *J. Dairy Sci.* 99:4899–4906.  
907 doi:10.3168/jds.2015-10298.
- 908 Maekawa, M., K.A. Beauchemin, and D.A. Christensen. 2002. Chewing Activity,  
909 Saliva Production, and Ruminant pH of Primiparous and Multiparous Lactating  
910 Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 85:1176–1182. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74180-5.
- 911 Marett, L.C., S.R.O. Williams, B.J. Hayes, J.E. Pryce, and W.J. Wales. 2017.  
912 Partitioning of energy and nitrogen in lactating primiparous and multiparous  
913 Holstein-Friesian cows with divergent residual feed intake. *Anim. Prod. Sci.*  
914 57:1499–1506. doi:10.1071/AN16476.
- 915 Mertens, D.R. 1994. Regulation of forage Intake. *Forage Qual. Eval. Util.* 494–532.  
916 doi:10.2134/1994.foragequality.c11.
- 917 Mertens, D.R., M. Allen, J. Carmany, J. Clegg, A. Davidowicz, M. Drouches, K. Frank,  
918 D. Gambin, M. Garkie, B. Gildemeister, D. Jeffress, C.S. Jeon, D. Jones, D.  
919 Kaplan, G.N. Kim, S. Kobata, D. Main, X. Moua, B. Paul, J. Robertson, D.  
920 Taysom, N. Thiex, J. Williams, and M. Wolf. 2002. Gravimetric determination of  
921 amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or  
922 crucibles: Collaborative study. *J. AOAC Int.* 85:1217–1240.
- 923 Moe, P.W., H.F. Tyrrell, and W.P. Flatt. 1971. Energetics of Body Tissue Mobilization.  
924 *J. Dairy Sci.* 54:548–553. doi:10.3168/jds.S0022-0302(71)85886-1.
- 925 Oliveira, A.S. 2015. Meta-analysis of feeding trials to estimate energy requirements of  
926 dairy cows under tropical condition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 210:94–103.  
927 doi:10.1016/j.anifeedsci.2015.10.006.
- 928 Ospina, P.A., D. V Nydam, T. Stokol, and T.R. Overton. 2010. Associations of elevated

- 929 nonesterified fatty acids and beta-hydroxybutyrate concentrations with early  
930 lactation reproductive performance and milk production in transition dairy cattle in  
931 the northeastern United States.. *J. Dairy Sci.* 93:1596–603. doi:10.3168/jds.2009-  
932 2852.
- 933 Oss, D.B., F.S. Machado, T.R. Tomich, L.G.R. Pereira, M.M. Campos, M.M.D. Castro,  
934 T.E. da Silva, and M.I. Marcondes. 2017. Energy and protein requirements of  
935 crossbred (Holstein × Gyr) growing bulls. *J. Dairy Sci.* 100:2603–2613.  
936 doi:10.3168/jds.2016-11414.
- 937 Pedreira, M. dos S., O. Primavesi, M.A. Lima, R. Frighetto, S.G. de Oliveira, and T.T.  
938 Berchielli. 2009. Ruminant methane emission by dairy cattle in Southeast Brazil.  
939 *Sci. Agric.* 66:742–750. doi:10.1590/S0103-90162009000600004.
- 940 Pereira, L.Gu.R., F.S. Machado, M.M. Campos, R.G. Junior, T.R. Tomich, and E. de A.  
941 Moreira. 2011. Avanço conceitual em diagnóstico e estratégias de metano entérico  
942 em bovinos de leite no Brasil. 1º Int. Symp. Dairy Cattle 48.
- 943 Pereira, R.J., D.R. Ayres, L. El Faro, A.E.V. Filho, R. da S. Verneque, and L.G. de  
944 Albuquerque. 2013. Genetic parameters for production traits of dairy Gyr (*Bos*  
945 *indicus*) × Holstein cattle estimated with a random regression model. *Livest. Sci.*  
946 158:24–31. doi:10.1016/j.livsci.2013.10.003.
- 947 Posada-Ochoa, S.L., R.R. Noguera, N.M. Rodríguez, A.L. Costa, and R. Reis. 2017.  
948 Indirect calorimetry to estimate energy requirements for growing and finishing  
949 Nellore bulls. *J. Integr. Agric.* 16:151–161. doi:10.1016/S2095-3119(16)61443-0.
- 950 Primavesi, O., R.T. Shiraishi Frighetto, M.D.S. Pedreira, M.A. De Lima, T.T.  
951 Berchielli, and P.F. Barbosa. 2004. Metano entérico de bovinos leiteiros em  
952 condições tropicais brasileiras. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 39:277–283.  
953 doi:10.1590/S0100-204X2004000300011.

- 954 Ramin, M., and P. Huhtanen. 2013. Development of equations for predicting methane  
955 emissions from ruminants. *J. Dairy Sci.* 96:2476–2493. doi:10.3168/jds.2012-  
956 6095.
- 957 Ramírez-Restrepo, C.A., H. Clark, and S. Muetzel. 2015. Methane emissions from  
958 young and mature dairy cattle. doi:10.1071/AN15102.
- 959 Russel, A.J.F., and I.A. Wright. 1983. The use of blood metabolites in the determination  
960 of energy status in beef cows. *Anim. Prod.* 37:335–343.  
961 doi:10.1017/S000335610000194X.
- 962 Sniffen, C.J., J.D. O'Connor, P.J. Van Soest, D.G. Fox, and J.B. Russell. 1992. A  
963 net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate  
964 and protein availability.. *J. Anim. Sci.* 70:3562–3577.  
965 doi:10.2527/1992.70113562x.
- 966 Van Soest, P.J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminants*.
- 967 Van Soest, P.J., J.B. Robertson, and B.A. Lewis. 1991. Methods for Dietary Fiber,  
968 Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal  
969 Nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583–3597. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.
- 970 Tyrrell, H.F., and P.W. Moe. 1975. Effect of Intake on Digestive Efficiency. *J. Dairy*  
971 *Sci.* 58:1151–1163. doi:10.3168/jds.S0022-0302(75)84694-7.
- 972 Tyrrell, H.F., and J.T. Reid. 1965. Prediction of the energy value of cow's milk.. *J.*  
973 *Dairy Sci.* 48:1215–1223. doi:10.3168/jds.S0022-0302(65)88430-2.
- 974 Wang, C., J.X. Liu, Z.P. Yuan, Y.M. Wu, S.W. Zhai, and H.W. Ye. 2007. Effect of  
975 Level of Metabolizable Protein on Milk Production and Nitrogen Utilization in  
976 Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 90:2960–2965. doi:10.3168/jds.2006-129.
- 977 Wright, T.C., S. Moscardini, P.H. Luimes, P. Susmel, and B.W. McBride. 1998. Effects  
978 of Rumen-Undegradable Protein and Feed Intake on Nitrogen Balance and Milk

- 979 Protein Production in Dairy Cows. J. Dairy Sci. 81:784–793.  
 980 doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)75635-8.
- 981 Yambayamba, E.S., M. a Price, and G.R. Foxcroft. 1996. Hormonal status, metabolic  
 982 changes, and resting metabolic rate in beef heifers undergoing compensatory  
 983 growth.. J. Anim. Sci. 74:57–69. doi:10.2527/1996.74157x.
- 984 Yan, T., C.S. Mayne, F.G. Gordon, M.G. Porter, R.E. Agnew, D.C. Patterson, C.P.  
 985 Ferris, and D.J. Kilpatrick. 2010. Mitigation of enteric methane emissions through  
 986 improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows.  
 987 J. Dairy Sci. 93:2630–2638. doi:10.3168/jds.2009-2929.
- 988
- 989 Tabela 2. Formulação e composição química da dieta experimental

| Item <sup>1</sup>    | g /kg |
|----------------------|-------|
| Silagem de milho     | 490,1 |
| Feno de Tifton       | 32,1  |
| Farelo de soja       | 231,9 |
| Milho moído          | 211,0 |
| <i>Lactage Gold</i>  | 13,5  |
| Calcário             | 8,1   |
| Bicarbonato de Sódio | 6,9   |
| Óxido de Magnésio    | 3,3   |
| Ureia                | 2,1   |
| Sulfato de Amônio    | 1,0   |
| <i>Composição</i>    |       |
| Matéria Seca         | 459,1 |
| Cinzas               | 87,6  |
| Matéria Orgânica     | 912,4 |
| PB                   | 189,3 |
| EE                   | 24,4  |
| FDN                  | 302,3 |
| PB – FDN             | 19,5  |
| CNF                  | 396,5 |
| EB <i>MJ</i>         | 17,58 |
| *EM <i>MJ/kg MS</i>  | 10,74 |

990

<sup>1</sup>PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; FDN = fibra em detergente neutro; PB-FDN = proteína insolúvel em detergente neutro; CNF = carboidratos não fibrosos.

\*média obtida no ensaio de metabolismo.

991 Tabela 3. Consumos médios diários de matéria seca e das frações nutricionais  
 992 (Kg MS/dia), peso vivo médio e ganho de peso médio diário em vacas primíparas e  
 993 múltíparas no terço inicial da lactação, submetidas a dois níveis de alimentação\*

| Parâmetros <sup>1</sup> | Primípara         |                 | Múltípara         |                 | EPM <sup>2</sup> | P-valor** |         |       |
|-------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|-----------|---------|-------|
|                         | <i>Ad Libitum</i> | <i>Restrito</i> | <i>Ad Libitum</i> | <i>Restrito</i> |                  | OL        | NA      | OL*NA |
| CMS                     | 18,2              | 13,0            | 18,9              | 14,3            | 0,20             | 0,172     | < 0,001 | 0,538 |
| CMO                     | 16,7              | 11,8            | 17,2              | 13,1            | 0,18             | 0,189     | < 0,001 | 0,518 |
| CPB                     | 3,44              | 2,44            | 3,61              | 2,74            | 0,04             | 0,106     | < 0,001 | 0,557 |
| CEE                     | 0,48              | 0,31            | 0,42              | 0,33            | 0,01             | 0,414     | < 0,001 | 0,156 |
| CFDN                    | 5,34              | 3,87            | 5,40              | 4,26            | 0,06             | 0,301     | < 0,001 | 0,422 |
| CCNF                    | 7,55              | 5,28            | 7,90              | 5,85            | 0,09             | 0,140     | < 0,001 | 0,640 |
| PV, Kg                  | 502               | 464             | 550               | 531             | 3,27             | 0,003     | 0,113   | 0,540 |
| GMD, Kg/dia             | 0,68              | -0,04           | 0,18              | -0,41           | 0,09             | 0,007     | < 0,001 | 0,606 |

994 \*Consumo médio de matéria seca e nutrientes do 21º ao 100º dias em lactação; <sup>1</sup>CMS = consumo de  
 995 matéria seca, CMO = consumo de matéria orgânica, CPB = consumo de proteína bruta, CEE = consumo  
 996 de extrato etéreo, CFDN = consumo de fibra em detergente neutro, CCNF = consumo de carboidratos não  
 997 fibrosos, PV = peso vivo, GMD = ganho médio diário, <sup>2</sup> EPM = erro padrão da média, \*\*OL = ordem de  
 998 lactação, NA = nível de alimentação, OL\*NA = interação entre ordem de lactação e nível de alimentação.  
 999

1000

1001 Tabela 4. Produção de leite diária, produção de leite corrigida para gordura,  
 1002 produção de leite corrigida para energia, composição do leite, eficiência de  
 1003 conversão alimentar e eficiência alimentar para lactação de vacas Girolando,  
 1004 primíparas e múltíparas, no terço inicial da lactação, submetidas a dois níveis de  
 1005 alimentação

| Parâmetros <sup>1</sup> | Primípara         |                 | Múltípara         |                 | EPM <sup>2</sup> | P-valor* |       |       |
|-------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|----------|-------|-------|
|                         | <i>Ad Libitum</i> | <i>Restrito</i> | <i>Ad Libitum</i> | <i>Restrito</i> |                  | OL       | NA    | OL*NA |
| PL, Kg/dia              | 22,6              | 20,4            | 26,3              | 24,7            | 0,26             | 0,012    | 0,197 | 0,815 |
| PL 4%, Kg/dia           | 24,2              | 21,3            | 26,5              | 25,5            | 0,32             | 0,031    | 0,184 | 0,489 |
| PLce, Kg/dia            | 22,2              | 19,1            | 24,1              | 23,0            | 0,28             | 0,030    | 0,108 | 0,440 |
| Gordura, %              | 3,86              | 3,77            | 3,56              | 3,73            | 0,05             | 0,317    | 0,802 | 0,447 |
| Proteína, %             | 3,14              | 2,85            | 2,89              | 2,83            | 0,02             | 0,108    | 0,035 | 0,161 |
| Lactose, %              | 4,64              | 4,55            | 4,62              | 4,54            | 0,01             | 0,728    | 0,072 | 0,846 |
| ES, %                   | 12,6              | 12,1            | 12,0              | 12,1            | 0,06             | 0,210    | 0,377 | 0,332 |
| ESD, %                  | 8,74              | 8,34            | 8,45              | 8,30            | 0,03             | 0,164    | 0,023 | 0,275 |

|                                  |      |      |      |      |      |       |         |       |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|-------|---------|-------|
| Ureia, mg/dL                     | 20,5 | 20,4 | 22,5 | 22,5 | 0,41 | 0,236 | 0,972   | 0,970 |
| ECA, Kg leite/ Kg de MS ingerida | 1,25 | 1,57 | 1,39 | 1,71 | 0,02 | 0,048 | < 0,001 | 0,999 |
| EAL, MJ/ MJ de energia ingerida  | 3,75 | 4,50 | 3,90 | 4,92 | 0,06 | 0,211 | < 0,001 | 0,544 |

1006 <sup>1</sup>PL = produção de leite diária, PL4% = produção de leite corrigida para 4% de gordura, PLce = produção de leite  
 1007 corrigida para energia, ES = extrato seco, ESD = extrato seco desengordurado, ECA = eficiência de conversão  
 1008 alimentar, EAL = eficiência alimentar para lactação. <sup>2</sup>EPM = erro padrão da média, \*OL = ordem de lactação, NA =  
 1009 nível de alimentação, OL\*NA = interação entre ordem de lactação e nível de alimentação.  
 1010

1011

1012 Tabela 5. Coeficientes de digestibilidade da matéria seca e das frações

1013 nutricionais em vacas Girolando, primíparas e multíparas, no terço inicial da

1014 lactação, submetidas a dois níveis de alimentação

| Parâmetros <sup>1</sup> | Primípara  |          | Multípara  |          | EPM <sup>2</sup> | P-valor* |       |       |
|-------------------------|------------|----------|------------|----------|------------------|----------|-------|-------|
|                         | Ad Libitum | Restrito | Ad Libitum | Restrito |                  | OL       | NA    | NA*OL |
| CDMS, g/kg              | 715        | 710      | 711        | 690      | 4,74             | 0,211    | 0,183 | 0,417 |
| CDMO, g/kg              | 732        | 730      | 728        | 715      | 4,41             | 0,315    | 0,410 | 0,561 |
| CDPB, g/kg              | 766        | 757      | 773        | 752      | 4,69             | 0,923    | 0,118 | 0,551 |
| CDEE, g/kg              | 826        | 857      | 832        | 844      | 8,63             | 0,851    | 0,247 | 0,592 |
| CDFDN, g/kg             | 580        | 586      | 557        | 567      | 6,28             | 0,096    | 0,522 | 0,871 |
| CDCNF, g/kg             | 829        | 828      | 833        | 819      | 6,26             | 0,855    | 0,586 | 0,646 |
| CDEB, J/MJ              | 721        | 707      | 711        | 705      | 5,09             | 0,628    | 0,399 | 0,756 |

1015 <sup>1</sup>CDMS = coeficiente de digestibilidade da matéria seca, CDMO = coeficiente de digestibilidade da matéria  
 1016 orgânica, CDPB = coeficiente de digestibilidade da proteína bruta, CDEE = coeficiente de digestibilidade do  
 1017 extrato etéreo, CDFDN = coeficiente de digestibilidade da fibra em detergente neutro, CDCNF = coeficiente de  
 1018 digestibilidade dos carboidratos não fibrosos, CDEB = coeficiente de digestibilidade da energia bruta. <sup>2</sup>EPM =  
 1019 erro padrão da média, \*OL = ordem de lactação, NA = nível de alimentação, OL\*NA = interação entre ordem de  
 1020 lactação e nível de alimentação.  
 1021

1022

1023 Tabela 6. Balanço de nitrogênio (N) em vacas Girolando, primíparas e

1024 multíparas, no terço inicial da lactação, submetidas a dois níveis de alimentação

| Parâmetros <sup>1</sup>   | Tratamentos |          |            |          | EPM <sup>1</sup> | P-valor* |         |       |
|---------------------------|-------------|----------|------------|----------|------------------|----------|---------|-------|
|                           | Primípara   |          | Multípara  |          |                  | OL       | NA      | NA*OL |
|                           | Ad Libitum  | Restrito | Ad Libitum | Restrito |                  |          |         |       |
| <i>Nitrogênio (g/dia)</i> |             |          |            |          |                  |          |         |       |
| Ingerido                  | 598         | 406      | 586        | 426      | 22,7             | 0,905    | < 0,001 | 0,578 |
| Fecal                     | 140         | 101      | 132        | 100      | 5,57             | 0,678    | 0,001   | 0,740 |
| Urínario                  | 201         | 184      | 248        | 174      | 11,1             | 0,442    | 0,034   | 0,183 |
| Leite                     | 121         | 92       | 120,0      | 108      | 4,53             | 0,416    | 0,021   | 0,307 |

|                                  |      |      |       |      |      |       |       |       |
|----------------------------------|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| Total excretado                  | 461  | 377  | 500   | 382  | 16,9 | 0,488 | 0,001 | 0,550 |
| Retido                           | 137  | 28,9 | 85,8  | 43,9 | 15,6 | 0,539 | 0,006 | 0,210 |
| <i>Nitrogênio (% N ingerido)</i> |      |      |       |      |      |       |       |       |
| Fezes                            | 23,3 | 24,7 | 22,5  | 23,7 | 0,47 | 0,436 | 0,165 | 0,905 |
| Urina                            | 32,0 | 46,0 | 45,1  | 42,0 | 2,64 | 0,433 | 0,278 | 0,108 |
| Leite                            | 19,9 | 22,5 | 20,9  | 25,7 | 0,71 | 0,138 | 0,004 | 0,361 |
| Total excretado                  | 75,2 | 93,3 | 88,5  | 91,5 | 3,00 | 0,342 | 0,052 | 0,167 |
| Retido                           | 24,8 | 6,75 | 11,47 | 8,54 | 3,00 | 0,342 | 0,052 | 0,167 |
| Peso vivo, Kg                    | 520  | 473  | 550   | 519  | 10,2 | 0,104 | 0,052 | 0,701 |

1025 <sup>1</sup>EPM = erro padrão da média; \*OL = ordem de lactação, NA = nível de alimentação, OL\*NA = interação entre  
 1026 ordem de lactação e nível de alimentação.

1027

1028

1029 Tabela 7. Concentrações séricas de vacas Girolando, primíparas e multíparas

1030 no terço inicial da lactação, submetidas a dois níveis de alimentação

| Parâmetros <sup>1</sup> | Primípara         |                 | Multípara         |                 | EPM <sup>2</sup> | <i>P-valor*</i> |         |       |
|-------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|-----------------|---------|-------|
|                         | <i>Ad Libitum</i> | <i>Restrito</i> | <i>Ad Libitum</i> | <i>Restrito</i> |                  | OL              | NA      | NA*OL |
| Ureia, mg/dL            | 43,8              | 45,6            | 50,2              | 46,1            | 0,886            | 0,235           | 0,686   | 0,309 |
| TGC, mg/dL              | 12,6              | 13,5            | 13,7              | 14,2            | 0,388            | 0,173           | 0,294   | 0,691 |
| Glicose, mg/dL          | 68,9              | 63,8            | 64,7              | 62,9            | 0,608            | 0,097           | 0,027   | 0,258 |
| BHBA, mmol/L            | 0,78              | 0,73            | 0,74              | 0,83            | 0,023            | 0,646           | 0,728   | 0,174 |
| AGNE, mmol/L            | 0,23              | 0,34            | 0,23              | 0,44            | 0,019            | 0,202           | < 0,001 | 0,295 |

1031 <sup>1</sup>TGC = triglicérides, BHBA =  $\beta$ -hidroxibutirato, AGNE = ácidos graxos não esterificados. <sup>2</sup>EPM = erro  
 1032 padrão da média, \*OL = ordem de lactação, NA = nível de alimentação, OL\*NA = interação entre ordem  
 1033 de lactação e nível de alimentação.

1034

1035

1036

1037

1038

1039

1040

1041

1042 Tabela 8. Emissão de metano em vacas Girolando, primíparas e multíparas,  
1043 no terço inicial da lactação, submetidas a dois níveis de alimentação

| Parâmetros <sup>1</sup>                      | Primípara         |                 | Multípara         |                 | EPM <sup>2</sup> | P-valor* |         |       |
|--|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|----------|---------|-------|
|  | <i>Ad Libitum</i> | <i>Restrito</i> | <i>Ad Libitum</i> | <i>Restrito</i> |                  | OL       | NA      | NA*OL |
| CH <sub>4</sub> , g/dia                      | 352               | 253             | 364               | 287             | 7,38             | 0,120    | < 0,001 | 0,437 |
| CH <sub>4</sub> , g/ Kg MS <i>ing</i>        | 19,1              | 19,2            | 18,1              | 19,6            | 0,22             | 0,646    | 0,167   | 0,234 |
| CH <sub>4</sub> , g/ Kg MO <i>ing</i>        | 20,7              | 20,9            | 19,6              | 21,4            | 0,24             | 0,702    | 0,160   | 0,247 |
| CH <sub>4</sub> , g/ Kg FDN <i>ing</i>       | 63,8              | 60,8            | 61,1              | 62,6            | 1,00             | 0,878    | 0,806   | 0,455 |
| CH <sub>4</sub> , g/ Kg MS <i>dig</i>        | 26,7              | 27,0            | 25,4              | 28,4            | 0,32             | 0,929    | 0,054   | 0,124 |
| CH <sub>4</sub> , g/ Kg MO <i>dig</i>        | 28,3              | 28,6            | 27,0              | 29,9            | 0,34             | 0,988    | 0,084   | 0,165 |
| CH <sub>4</sub> , g/ Kg FDN <i>dig</i>       | 110               | 104             | 110               | 110             | 1,67             | 0,493    | 0,578   | 0,485 |
| CH <sub>4</sub> , g/ Kg leite                | 15,6              | 13,1            | 14,6              | 13,5            | 0,29             | 0,712    | 0,036   | 0,405 |
| CH <sub>4</sub> , g/ Kg leite <i>corr 4%</i> | 14,0              | 13,2            | 15,3              | 15,1            | 0,29             | 0,062    | 0,557   | 0,685 |
| CH <sub>4</sub> , g/ Kg leite <i>energia</i> | 13,4              | 12,6            | 14,3              | 14,0            | 0,26             | 0,126    | 0,469   | 0,754 |

<sup>1</sup>CH<sub>4</sub> (g/dia) = emissão diária de metano, CH<sub>4</sub> (g/kg MS *ing*) = emissão diária de CH<sub>4</sub> por quilo de matéria seca ingerida, CH<sub>4</sub> (g/kg MO *ing*) = emissão diária de metano por quilo de matéria orgânica ingerida, CH<sub>4</sub> (g/kg FDN *ing*) = emissão diária de metano por quilo de fibra em detergente neutro ingerida, CH<sub>4</sub>(g/kg MS *dig*) = emissão diária de metano por quilo de matéria seca digerida, CH<sub>4</sub> (g/kg MO *dig*) = emissão diária de metano por quilo de matéria orgânica digerida, CH<sub>4</sub> (g/kg FDN *dig*) = emissão diária de metano por quilo de fibra em detergente neutro digerida, CH<sub>4</sub> (g/kg leite) = emissão de metano por quilo de leite produzido, CH<sub>4</sub> (g/kg leite *corr 4%*) = emissão diária de metano por quilo de leite corrigido para 4% de gordura, CH<sub>4</sub> (g/kg leite *energia*) = emissão diária de metano por quilo de leite corrigido para energia; <sup>2</sup>EPM = erro padrão da média; \*OL = ordem de lactação, NA = nível de alimentação, OL\*NA = interação entre ordem de lactação e nível de alimentação.

1044

1045 Tabela 9. Partição e balanço energético de vacas Girolando, primíparas e  
1046 multíparas, no terço inicial da lactação, submetidas a dois níveis de alimentação

| Parâmetros <sup>1</sup>              | Primípara         |                 | Multípara         |                 | EPM <sup>2</sup> | P-valor* |         |       |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|----------|---------|-------|
|                                      | <i>Ad Libitum</i> | <i>Restrito</i> | <i>Ad Libitum</i> | <i>Restrito</i> |                  | OL       | NA      | NA*OL |
| <i>Dados dos animais</i>             |                   |                 |                   |                 |                  |          |         |       |
| PV, Kg                               | 520               | 473             | 550               | 519             | 10,2             | 0,104    | 0,052   | 0,701 |
| GMD, Kg/dia                          | 0,68              | -0,04           | 0,18              | -0,41           | 0,09             | 0,007    | < 0,001 | 0,606 |
| <i>Consumo e Partição da energia</i> |                   |                 |                   |                 |                  |          |         |       |
| CEB, MJ/dia                          | 344               | 235             | 340               | 249             | 13,4             | 0,805    | < 0,001 | 0,588 |



|                           |      |       |      |       |      |       |         |       |
|---------------------------|------|-------|------|-------|------|-------|---------|-------|
| EF, MJ/dia                | 96,2 | 69,0  | 98,6 | 73,1  | 4,06 | 0,663 | 0,001   | 0,894 |
| CED, MJ/dia               | 248  | 166   | 241  | 176   | 9,74 | 0,913 | < 0,001 | 0,474 |
| ED, MJ/Kg MS              | 12,8 | 12,6  | 12,6 | 12,5  | 0,09 | 0,597 | 0,430   | 0,738 |
| EU, MJ/dia                | 12,7 | 11,2  | 15,5 | 11,8  | 0,79 | 0,412 | 0,156   | 0,534 |
| ECH <sub>4</sub> , MJ/dia | 20,3 | 14,2  | 18,8 | 15,1  | 0,75 | 0,805 | < 0,001 | 0,235 |
| CEM, MJ/dia               | 242  | 141   | 207  | 149   | 8,78 | 0,998 | < 0,001 | 0,431 |
| EM, MJ/Kg MS              | 11,1 | 10,6  | 10,8 | 10,5  | 0,10 | 0,376 | 0,131   | 0,611 |
| ELI, MJ/dia               | 73,5 | 58,0  | 74,9 | 70,4  | 3,18 | 0,362 | 0,129   | 0,410 |
| PC, MJ/dia                | 112  | 83,5  | 115  | 95,7  | 3,14 | 0,088 | < 0,001 | 0,263 |
| PC, MJ/PV <sup>0,75</sup> | 1,03 | 0,82  | 1,02 | 0,88  | 0,02 | 0,562 | < 0,001 | 0,237 |
| BE, MJ/dia                | 29,2 | -0,71 | 16,4 | -17,1 | 5,30 | 0,052 | < 0,001 | 0,775 |

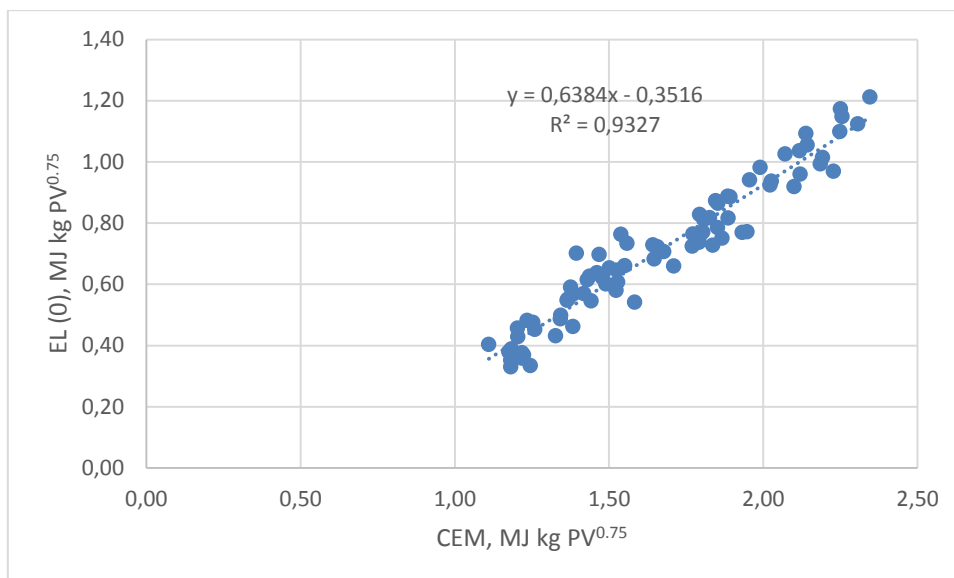
*Porcentagem de consumo de energia*

|                          |      |       |      |       |      |       |         |       |
|--------------------------|------|-------|------|-------|------|-------|---------|-------|
| EF, % CEB                | 27,9 | 29,3  | 28,9 | 29,5  | 0,51 | 0,628 | 0,399   | 0,756 |
| ED, % CEB                | 72,1 | 70,7  | 71,1 | 70,5  | 0,51 | 0,628 | 0,399   | 0,756 |
| EU, % CEB                | 3,57 | 4,78  | 4,79 | 4,93  | 0,30 | 0,376 | 0,315   | 0,441 |
| ECH <sub>4</sub> , % CEB | 5,93 | 5,98  | 5,55 | 6,14  | 0,09 | 0,630 | 0,118   | 0,198 |
| ELI, % CEB               | 21,1 | 24,5  | 22,5 | 28,8  | 0,96 | 0,140 | 0,007   | 0,390 |
| PC, % CEB                | 32,6 | 35,7  | 35,1 | 39,4  | 0,97 | 0,140 | 0,042   | 0,728 |
| BE, % CEB                | 8,88 | -0,20 | 3,16 | -8,81 | 1,80 | 0,006 | < 0,001 | 0,491 |

*Eficiência de utilização da energia*

|             |      |        |      |       |      |       |         |       |
|-------------|------|--------|------|-------|------|-------|---------|-------|
| EM / EB (q) | 0,63 | 0,60   | 0,61 | 0,59  | 0,01 | 0,399 | 0,123   | 0,515 |
| EM / ED     | 0,87 | 0,85   | 0,85 | 0,84  | 0,00 | 0,436 | 0,133   | 0,713 |
| ELI / CEM   | 0,34 | 0,41   | 0,37 | 0,49  | 0,02 | 0,068 | 0,002   | 0,406 |
| PC / CEM    | 0,52 | 0,60   | 0,58 | 0,67  | 0,02 | 0,007 | 0,011   | 0,806 |
| BE / CEM    | 0,14 | -0,003 | 0,05 | -0,16 | 0,03 | 0,005 | < 0,001 | 0,392 |

<sup>1</sup>PV = peso vivo, GMD = ganho médio diário, CEB = consumo de energia bruta, EF = energia fecal, CED = consumo de energia digestível, ED = energia digestível, EU = energia urinária, ECH<sub>4</sub> = energia via metano, CEM = consumo de energia metabolizável, EM = energia metabolizável, ELI = energia líquida de lactação, PC = produção de calor, BE = balanço energético; EPM = erro padrão da média; \*OL = ordem de lactação, NA = nível de alimentação, OL\*NA = interação entre ordem de lactação e nível de alimentação.



1047

1048 Gráfico 1. Exigências de energia metabolizável (EMm) e líquida (ELm) para mantença  
1049 (MJ/kg PV<sup>0,75</sup>) e eficiência de utilização da EM para lactação (*kl*) obtidos para vacas  
1050 Girolando no terço inicial da lactação.

1051

1052

1053

1054

1055

1056

1057

1058

1059

1060

1061

1062

1063

1064

**CONSIDERAÇÕES FINAIS**

1065  
1066  
1067  
1068  
1069  
1070  
1071  
1072  
1073  
1074  
1075  
1076  
1077  
1078  
1079  
1080  
1081  
1082  
1083  
1084  
1085  
1086  
1087  
1088  
1089  
1090  
1091  
1092  
1093  
1094  
1095  
1096  
1097  
1098  
1099  
1100  
1101  
1102  
1103

A realização do presente estudo gerou informações sobre o metabolismo e exigências nutricionais ainda escassas na literatura para vacas Girolando  $\frac{3}{4}$  no início da lactação. Desta forma, os resultados obtidos nesse trabalho poderão ser utilizados como referência para posteriores pesquisas.

Embora o Girolando seja adaptado às condições tropicais, é necessário conhecer as características inerentes ao animal, assim como sua potencialidade produtiva e limitações, utilizando o manejo correto, a fim de garantir um bom desempenho produtivo.

**REFERÊNCIAS**

1104  
1105  
1106  
1107  
1108  
1109  
1110  
1111  
1112  
1113  
1114  
1115  
1116  
1117  
1118  
1119  
1120  
1121  
1122  
1123  
1124  
1125  
1126  
1127  
1128  
1129  
1130  
1131  
1132  
1133  
1134  
1135  
1136  
1137  
1138  
1139  
1140  
1141  
1142  
1143  
1144  
1145  
1146  
1147  
1148  
1149  
1150  
1151  
1152  
1153

1. Balancin Júnior, A., M. a. Prata, H.L. Moreira, A.E. Vercesi Filho, V.L. Cardoso, and L. El Faro. 2014. Avaliação de desempenho produtivo e reprodutivo de animais mestiços do cruzamento Holandês x Gir. *Bol. Indústria Anim.* 71:357–364. doi:10.17523/bia.v71n4p357.
2. Campos, R., F. González., A. Coldebella., and L. LaCeRda. 2007. Indicadores do metabolismo energético no pós-parto de vacas leiteiras de alta produção e sua relação com a composição do leite. *Ciência Anim. Bras.* 8:241–249.
4. Canaza-Cayo, A.W., P.S. Lopes, J.A. Cobuci, M.F. Martins, and M.V.G.B. d Silva. 2017. Genetic parameters of milk production and reproduction traits of Girolando cattle in Brazil. *Ital. J. Anim. Sci.* 0:1–9. doi:10.1080/1828051X.2017.1335180.
5. Carvalho, B.C. De. 2009. Parâmetros reprodutivos , metabólitos e produção de leite de vacas mestiças Holandês x Zebu submetidas a dois manejos pré-parto.
6. Cozzi, G., L. Ravarotto, F. Gottardo, A.L. Stefani, B. Contiero, L. Moro, M. Brscic, and P. Dalvit. 2011. Short communication: Reference values for blood parameters in Holstein dairy cows: Effects of parity, stage of lactation, and season of production. *J. Dairy Sci.* 94:3895–3901. doi:10.3168/jds.2010-3687.
7. Facó, O., R.N.B. Lôbom, R. Martins Filho, and A.A.A. Moura. 2002. Analysis of Productive Performance of Different Holstein x Gir Genetic Groups in Brazil. *R. Bras. Zootec.* 31:1944–1952. doi:10.1590/S1516-35982002000800010.
8. FAGUNDES, M.H. 2017. Conjuntura Mensal Especial: Leite e derivados. CONAB – Cia. Nac. Abast. 1–7.
9. Godfray, H.C.J., J.R. Beddington, I.R. Crute, L. Haddad, D. Lawrence, J.F. Muir, J. Pretty, S. Robinson, S.M. Thomas, and C. Toulmin. 2010. Food Security : The Challenge of 327:812–818. doi:DOI: 10.1126/science.1185383.
10. Haas, Y., M. Pszczola, H. Soyeurt, E. Wall, and J. Lassen. 2017. Invited review: Phenotypes to genetically reduce greenhouse gas emissions in dairying. *J. Dairy Sci.* 100:855–870. doi:10.3168/jds.2016-11246.
11. Hegarty, R.S., J.P. Goopy, R.M. Herd, and B. McCorkell. 2007. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *J. Anim. Sci.* 85:1479–1486. doi:10.2527/jas.2006-236.
12. Huhtanen, P., E.H. Cabezas-Garcia, S.J. Krizsan, and K.J. Shingfield. 2015. Evaluation of between-cow variation in milk urea and rumen ammonia nitrogen concentrations and the association with nitrogen utilization and diet digestibility in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 98:3182–3196. doi:10.3168/jds.2014-8215.
13. Hynes, D.N., S. Stergiadis, A. Gordon, and T. Yan. 2016. Effects of concentrate crude protein content on nutrient digestibility, energy utilization, and methane

- 1154 emissions in lactating dairy cows fed fresh-cut perennial grass. *J. Dairy Sci.*  
1155 99:8858–8866. doi:10.3168/jds.2016-11509.  
1156
- 1157 14. Jenkins, T.C., and M.A. McGuire. 2006. Major Advances in Nutrition: Impact  
1158 on Milk Composition. *J. Dairy Sci.* 89:1302–1310. doi:10.3168/jds.S0022-  
1159 0302(06)72198-1.  
1160
- 1161 15. Jiao, H.P., T. Yan, D.A. McDowell, A.F. Carson, C.P. Ferris, D.L. Easson, and  
1162 D. Wills. 2013. Enteric methane emissions and efficiency of use of energy in  
1163 Holstein heifers and steers at age of six months 1356–362. doi:10.2527/jas2012-  
1164 5259.  
1165
- 1166 16. Van Knegsel, A.T.M., H. van den Brand, J. Dijkstra, W.M. van Straalen, M.J.W.  
1167 Heetkamp, S. Tamminga, and B. Kemp. 2007. Dietary Energy Source in Dairy  
1168 Cows in Early Lactation: Energy Partitioning and Milk Composition. *J. Dairy*  
1169 *Sci.* 90:1467–1476. doi:10.3168/jds.S0022-0302(07)71632-6.  
1170
- 1171 17. Li, P., X.B. Li, S.X. Fu, C.C. Wu, X.X. Wang, G.J. Yu, M. Long, Z. Wang, and  
1172 G.W. Liu. 2012. Alterations of fatty acid  $\beta$ -oxidation capability in the liver of  
1173 ketotic cows. *J. Dairy Sci.* 95:1759–1766. doi:10.3168/jds.2011-4580.  
1174
- 1175 mcmanus et al 2008. .  
1176
- 1177 18. MELO, A.F., J.M. MOREIRA, D.S. ATAÍDES, R.A.M. GUIMARÃES, J.L.  
1178 LOIOLA, and H.C. SARDINHA. 2016. Efeitos do estresse térmico na produção  
1179 de vacas leiteiras: Revisão. *Publicações em Med. Veterinária e Zootec.* 10:721–  
1180 730. doi:10.22256/pubvet.v10n10.721-730.  
1181
- 1182 19. Michailoff, A., D. Diego, D. Agnol, F.S. Balistieri, F. Mores, and R. Ferreira.  
1183 2013. Desempenho produtivo e status energético em vacas leiteiras  
1184 suplementadas com colina protegida 367–372.  
1185
- 1186 20. Moraes, A.C.A., S.G. Coelho, J.R.M. Ruas, J.C.V.C. Ribeiro, F.A.P. Vieira, and  
1187 A.C.  
1188
- 1189 21. Menezes. 2004. Estudo técnico e econômico de um sistema de produção de leite  
1190 com gado mestiço F1Holandês-Zebu. *Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec.* 56:745–  
1191 749. doi:10.1590/S0102-09352004000600008.  
1192
- 1193 22. Pedreira, M. dos S., O. Primavesi, M.A. Lima, R. Frighetto, S.G. de Oliveira,  
1194 and T.T. Berchielli. 2009. Ruminal methane emission by dairy cattle in  
1195 Southeast Brazil. *Sci. Agric.* 66:742–750. doi:10.1590/S0103-  
1196 90162009000600004.  
1197
- 1198 23. Pereira, L.Gu.R., F.S. Machado, M.M. Campos, R.G. Junior, T.R. Tomich, and  
1199 E. de A. Moreira. 2011. Avanço conceitual em diagnóstico e estratégias de  
1200 metano entérico em bovinos de leite no Brasil. *1o Int. Symp. Dairy Cattle* 48.  
1201
- 1202 24. Pogliani, F. C.; Birgel Júnior, E.H. 2007. Valores de referência do lipidograma  
1203 de bovinos da raça holandesa, criados no Estado de São Paulo. *Brazilian J. Vet.*

- 1204 Res. Anim. Sci. 44:373–383. doi:10.1590/S1413-95962007000500009.  
1205
- 1206 25. Ramin, M., and P. Huhtanen. 2013. Development of equations for predicting  
1207 methane emissions from ruminants. J. Dairy Sci. 96:2476–2493.  
1208 doi:10.3168/jds.2012-6095.  
1209
- 1210 26. Ruas, J.R.M., E.A. da Silva, D.S. Queiroz, M.E.G. Pereira, J.A.G.S. Junior,  
1211 M.D. Santos, V.R.R. Junior, and M.D. da Costa. 2014. Características  
1212 produtivas da lactação de quatro grupos genéticos F1 Holandês x Zebu \*  
1213 Lactation productive characteristics of four genetic groups F1 Holstein x Zebu.  
1214 Rev. Bras. Ciência Veterinária 21:33–37.  
1215
- 1216 27. Russel, A.J.F., and I.A. Wright. 1983. The use of blood metabolites in the  
1217 determination of energy status in beef cows. Anim. Prod. 37:335–343.  
1218 doi:10.1017/S000335610000194X.  
1219
- 1220 Tadesse e Dessie 2003. .  
1221
- 1222 28. United Nations Department of Economic and Social Affairs, P.D. 2017. World  
1223 Population Prospects The 2017 Revision Key Findings and Advance Tables.  
1224 World Popul. Prospect. 2017 1–46. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.  
1225
- 1226 29. Vasconcelos, B.F., J.T. Pádua, M.F.C. Munhöz, and H. Tonhati. 2003. Efeitos  
1227 Genéticos E Ambientais Sobre a Produção De Leite, O Intervalo De Partos E a  
1228 Duração Da Lactação Em Um Rebanho Leiteiro Com Animais Mestiços, No  
1229 Brasil. Rev. Univ. Rural 23:39–45.  
1230
- 1231 30. Yan, T., C.S. Mayne, F.G. Gordon, M.G. Porter, R.E. Agnew, D.C. Patterson,  
1232 C.P. Ferris, and D.J. Kilpatrick. 2010. Mitigation of enteric methane emissions  
1233 through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating  
1234 dairy cows. J. Dairy Sci. 93:2630–2638. doi:10.3168/jds.2009-2929.  
1235  
1236
- 1237 31. MENDES, C. Q. et al. Metabolismo do nitrogênio de cordeiros alimentados com  
1238 rações contendo silagem de cana-de-açúcar tratada com aditivo químico ou  
1239 bacteriano. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE  
1240 ZOOTECNIA, 44., 2007, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal: SBZ, 2007. 1 CD-  
1241 ROM.  
1242
- 1243 32. SILVA, Janaina de Lima. Níveis de proteína degradável no rúmen em dietas  
1244 para cordeiros. 2010. 62 f. Dissertação (Mestrado em zootecnia) – Universidade  
1245 Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina- MG.  
1246
- 1247 33. BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V; OLIVEIRA, S.G. Nutrição de ruminantes.  
1248 Jaboticabal: Funep, 2006. 583p.  
1249
- 1250 34. GUIMARÃES JÚNIOR, R. et al. Balanço de nitrogênio em ovinos alimentados  
1251 com silagens de três genótipos de milheto *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. In:  
1252 REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44.,  
1253 2007, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal: SBz, 2007. 1 CD-ROM.

- 1254  
1255 35. MARTINS, Susi Cristina dos Santos Guimarães. Cana-de-açúcar ensilada com  
1256 ureia e óxido de cálcio em dietas para vacas mestiças em lactação. 2013. 172 f.  
1257 Tese (Doutorado em zootecnia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia,  
1258 Itapetinga.  
1259
- 1260 36. HUNTINGTON, G.B.; ARCHIBEQUE, S.L. Pratical aspects of urea e ammonia  
1261 metabolism in ruiminants. In: AMERICAN SOCIETY OF ANIMAL  
1262 SCIENCE,1999. Carolina do North: Proceedings... .Carolina do North: North  
1263 Carolina Stete, University, 1999.  
1264
- 1265 37. RUSSELL, J.B. *et al.* A net carbohydrate and protein system for evaluating  
1266 cattle diets: I. Ruminant fermentation. *J. Anim. Sci.*, Savoy, v. 70, n. 11, p. 3551-  
1267 3561, 1992.  
1268
- 1269 38. ØRSKOV, E.R. Nutrición Proteica de Los Ruminantes. ACRIBIA, S.A.,  
1270 Zaragoza, España. 1988. 178p.  
1271
- 1272 39. PEREIRA, K. P. et al. Balanço de nitrogênio e perdas endógenas em bovinos e  
1273 bubalinos alimentados com níveis crescentes de concentrado. *Acta Science*  
1274 *Animal Science*, Maringá, v.29, n.4, p.433-440, 2007.  
1275
- 1276 40. CHEN, X.B.; GOMES, M.J. Estimation of microbial protein supply to sheep and  
1277 cattle based on urinary excretion of purine derivatives: on overview of technical  
1278 details. Aberdeen: Rowett Research Institute/International Feed Research Unit,  
1279 1992. 21p. (Occasional publication).  
1280
- 1281 41. TOSTO, M. S. L. et al. Balanço de nitrogênio em caprinos alimentados com  
1282 dietas à base de palma forrageira, resíduo de vitivinícola e diferentes níveis de  
1283 ureia. In: IV CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL, 2006,  
1284 Petrolina.  
1285
- 1286 42. SILVA, J.F.C., LEÃO, M.I. 1979. Fundamentos de nutrição dos  
1287 ruminantes. Piracicaba: Livroceres. 380p.