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

PREDIÇÃO DA EMISSÃO DE METANO ENTÉRICO DE BOVINOS NELORE

Tatiana Lucila Pires Sobrinho
Zootecnista

JABOTICABAL, SP - BRASIL
2014

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

PREDIÇÃO DA EMISSÃO DE METANO ENTÉRICO DE BOVINOS NELORE

Tatiana Lucila Pires Sobrinho
Orientadora: Profa. Dra. Lúcia Galvão de Albuquerque
Co-orientadoras: Profa. Dra. Ana Cláudia Ruggieri
Profa. Dra. Renata Helena Branco

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

2014

Pires Sobrinho, Tatiana Lucila
P667p Predição da emissão de metano entérico de bovinos Nelore / Tatiana Lucila Pires Sobrinho. – – Jaboticabal, 2015
iv, 51 p. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientadora: Lucia Galvão de Albuquerque
Coorientadoras: Ana Claudia Ruggieri, Renata Helena Branco
Banca examinadora: Juliana Duarte Messana, Roberta Canesin, Maria Eugênia Zerlotti Mercadante, Alexandre Berndt
Bibliografia

1. Equações de predição. 2. Gases de efeito estufa. 3. Herdabilidade. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.08:636.2

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: PREDIÇÃO DA EMISSÃO DE METANO ENTÉRICO DE BOVINOS NELORE

AUTORA: TATIANA LUCILA PIRES SOBRINHO
ORIENTADORA: Profa. Dra. LUCIA GALVAO DE ALBUQUERQUE
CO-ORIENTADORA: Profa. Dra. RENATA HELENA BRANCO ARNANDES
CO-ORIENTADORA: Profa. Dra. ANA CLAUDIA RUGGIERI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM ZOOTECNIA , pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ANA CLAUDIA RUGGIERI
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. JULIANA DUARTE MESSANA
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. MARIA EUGENIA ZERLOTTI MERCADANTE
Instituto de Zootecnia / Sertãozinho

Prof. Dr. ALEXANDRE BERNDT
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / São Carlos/SP

Profa. Dra. ROBERTA CARRILHO CANESIN
Instituto de Zootecnia / Sertãozinho/SP

Data da realização: 14 de janeiro de 2015.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

TATIANA LUCILA PIRES SOBRINHO – nascida em São Paulo –SP, no dia 04 de maio de 1982. Concluiu o curso de graduação na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, campus de Botucatu em 2006. Obteve o título de Mestre em Zootecnia, em 2010, pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista, campus de Botucatu. Em 2011 ingressou no curso de Doutorado em Zootecnia pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, campus de Jaboticabal, sob a orientação da Profa. Dra. Lúcia Galvão de Albuquerque. De 2007 a 2010 colaborou com as pesquisas realizadas no Centro APTA Bovinos de Corte - Instituto de Zootecnia de Sertãozinho, com estudos sobre consumo alimentar residual de bovinos Nelore em crescimento.

SUMÁRIO

RESUMO.....ii

SUMMARY.....iii

CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....1

1. INTRODUÇÃO.....1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....1
   - 2.1. Emissão de metano entérico de ruminantes.....1
   - 2.2. Predição da emissão de metano entérico de ruminantes.....3
   - 2.3. Consumo alimentar residual (CAR) e emissão de metano.....5

CAPÍTULO 2. DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DA EMISSÃO DE METANO DE BOVINOS NELORE EM CLIMA TROPICAL.....12

RESUMO.....12

1. INTRODUÇÃO.....13
2. MATERIAL E MÉTODOS.....14
   - 2.1. Localização do experimento.....14
   - 2.2. Animais e dieta.....14
   - 2.3. Mensuração da emissão de metano entérico.....16
   - 2.4. Análise estatística.....17
     - 2.4.1. Avaliação das equações desenvolvidas.....17
     - 2.4.2. Avaliação das equações descritas na literatura.....19
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....19
   - 3.1. Consumo de nutrientes e emissão de metano.....20
   - 3.2. Desenvolvimento de equações de predição da emissão de metano.....21
   - 3.3. Avaliação das equações descritas na literatura.....27
4. CONCLUSÃO.....31

CAPÍTULO 3. ESTIMATIVA DA HERDABILIDADE DA EMISSÃO DE METANO DE BOVINOS NELORE EM CRESCIMENTO.....35

RESUMO.....35

1. INTRODUÇÃO.....36
2. MATERIAL E MÉTODOS.....37
   - 2.1. Localização do experimento.....37
   - 2.2. Animais.....37
   - 2.3. Manejo e coleta de dados.....38
   - 2.4. Consumo alimentar residual e medidas de eficiência.....40
   - 2.5. Predição da emissão de metano entérico.....40
   - 2.6. Análise estatística.....41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....42
   - 3.1. Desempenho e emissão de metano entérico.....42
   - 3.2. Estimativa da herdabilidade da emissão de metano.....44
   - 3.3. Emissão de metano entérico e consumo alimentar residual.....45
4. CONCLUSÃO.....48

PREDIÇÃO DA EMISSÃO DE METANO ENTÉRICO DE BOVINOS NELORE

RESUMO - Este trabalho foi conduzido com o objetivo de desenvolver equações de predição da emissão metano entérico além de avaliar equações descritas na literatura quanto a sua acurácia, estimar a herdabilidade da emissão de metano e estabelecer relações entre esta emissão e eficiência alimentar de bovinos Nelore em crescimento sob condições de clima tropical. Quarenta e oito bovinos Nelore foram avaliados quanto ao consumo de matéria seca, consumo de nutrientes e emissão de metano e equações foram geradas com base nos dados de consumo e avaliadas pela raiz quadrada do quadrado médio do erro de predição (RQME) e por regressão residual. A partir dos dados de emissão de metano obtidos *in vivo*, foram validadas equações descritas na literatura, avaliadas de acordo com os mesmos critérios utilizados para as novas equações geradas. Para a estimativa da herdabilidade foram utilizados dados de consumo individual e peso corporal de 896 bovinos Nelore (541 machos e 355 fêmeas) com peso corporal inicial médio de 276 ± 53 kg, nascidos entre 2004 e 2012 (286 ± 39 dias de idade inicial) e avaliados quanto ao consumo alimentar residual (CAR). Uma equação gerada a partir do consumo de matéria seca dos 48 animais avaliados foi utilizada para estimar a emissão de metano dos demais 896 animais, sendo outras duas equações descritas por Ellis e colaboradores também utilizadas com a mesma finalidade. A herdabilidade da emissão de metano foi estimada para cada equação. Equações incluindo as variáveis consumo de matéria seca e consumo de hemicelulose, consumo de matéria seca e consumo de carboidratos totais, consumo de energia metabolizável e consumo de celulose e consumo de carboidratos não fibrosos apresentaram os menores valores de RQME, sendo consideradas as mais ajustadas para o conjunto de dados estudado. Cinco das 17 equações descritas na literatura puderam predizer a emissão de metano adequadamente apresentando os menores valores de RQME dentre as equações avaliadas. Entretanto, as equações desenvolvidas no presente estudo apresentaram-se mais acuradas na predição da emissão de metano avaliando-se sob o mesmo parâmetro. A estimativa de herdabilidade (h^2) do CH_4 apresentou alta magnitude para os modelos onde não foi utilizado efeito de peso corporal, com valores idênticos para as três equações (0,52 ± 0,072), e de média magnitude onde esta característica foi introduzida nos modelos (0,35 ± 0,074), indicando haver variação entre animais para emissão de CH_4 mesmo após ajuste para peso corporal. A seleção da melhor equação a ser utilizada na predição da emissão de metano deve basear-se na disponibilidade da variável utilizada, a qual deve estar de preferência, relacionada ao tipo de dieta fornecida aos animais. Porém, para estimativas de valor genético da emissão de metano, é aconselhável a medida direta da emissão de CH_4 nos animais testados em contrapartida da sua predição por equações relacionadas a consumo de alimentos, uma vez que o consumo é diretamente relacionado à emissão de metano e a estimativa da herdabilidade estará condicionada a esta característica.

Palavras-chave: Equações de predição, gases de efeito estufa, herdabilidade

PREDICTION ENTERIC METHANE EMISSION IN NELORE CATTLE

SUMMARY - This work was conducted with the objective of developing enteric methane (CH_4) emission prediction equations and to evaluate equations described in the literature as to accuracy, estimate the heritability of methane emission and linking this issue and feed efficiency of Nellore in growth under tropical conditions. Forty-eight Nellore were evaluated for dry matter intake, nutrient intake and methane emission and equations were generated based on consumption data and evaluated by the square root of the mean square prediction error (RMSE) and residual regression. From the methane emission *in vivo* data, equations described in the literature were validated, assessed according to the same criteria used for the new generated equations. To estimate the heritability of individual consumption, data were used and body weight of 896 Nellore (541 males and 355 females) with an average initial body weight of 276±53 kg, born between 2004 and 2012 (286±39 days old) and assessed for residual feed intake (RFI). An equation generated from dry matter intake of 48 animals evaluated was used to estimate methane emissions from the other 896 animals, and two other equations described by Ellis et al also used for the same purpose. The heritability of methane emission was estimated for each equation. Equations including the variables dry matter intake and consumption of hemicellulose, dry matter intake and intake of total carbohydrates, metabolizable energy intake and consumption of pulp and consumption of non-fiber carbohydrates had the lowest RMSE values, are considered the most adjusted to the data set studied. Five of the 17 equations described in the literature could predict methane emissions properly to the lowest RMSE values among the evaluated equations. However, the equations developed in this study were more accurate in predicting the methane emission evaluating under the same parameter. The heritability estimate (h^2) of CH_4 showed high magnitude for models where it was not used body weight effect, with identical values for the three equations (0.52±0.072), and average magnitude where it was introduced in the models (0.35±0.074), indicating that there is variation between animals for CH_4 emission even after adjustment for body weight. Selection of the best equation to be used for predicting the emission of methane should be based on the availability of variable used, which should preferably be related to the type of diet fed to the animals. But for breeding value estimates of methane emission, it is advisable to direct measurement of CH_4 emission in the test animals in return for his prediction equations related by the consumption of food, since consumption is directly related to the emission of methane and estimate of heritability will be conditioned to this feature.

Keywords: Greenhouse gases, heritability, prediction equation

CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

O setor agrícola é importante fonte de emissão de gases de efeito estufa em todo o mundo tendo a pecuária participante com cerca de 8 a 10,8% desta emissão, com a magnitude diferindo de país para país (O´Mara, 2011). Assim, o Brasil tem sido apontado como importante emissor de metano, sendo o segundo país exportador de carne do mundo com o equivalente a 1,32 milhões de toneladas de carcaça, estando atrás somente da Austrália com 1,4 milhões de toneladas de carne exportada anualmente (MLA - MEAT AND LIVESTOCK AUSTRALIA, 2012).

Devido aos processos digestivos de fermentação entérica, os ruminantes apresentam perda de aproximadamente 6% da energia consumida através da eructação de metano (JOHNSON e JOHNSON, 1995). Estudos têm buscado métodos alternativos de redução nesta perda de energia com o objetivo de melhorar a eficiência de utilização dos alimentos e reduzir as emissões entéricas de metano (BOADI et al., 2004). Desta forma, identificar animais mais eficientes na utilização dos alimentos é, sem dúvida, uma ferramenta de grande importância na mitigação do metano. Porém, a mensuração da emissão de metano entérico requer aparatos complexos e sua predição por meio de equações que levem em consideração fatores facilmente mensuráveis é de extrema importância.

Neste contexto, o desenvolvimento de pesquisas que visem à obtenção de informações sobre o potencial de emissão de metano pela pecuária de corte brasileira é relevante para alcançar estratégias de mitigação de gases de efeito estufa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Emissão de metano entérico de ruminantes

Nos últimos anos tem-se observado acúmulo de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, fator este contribuinte para mudanças climáticas globais. De acordo com a FAOSTAT (2013), as concentrações destes gases, dentre dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), clorofluorcarbonos (CFCs), ozônio (O_3) e óxido nitroso (NO_2) na atmosfera aumentaram de 1,4 GT para 2,1 GT eq. CO_2/ano entre 1961 e 2010, correspondendo ao acréscimo anual médio de 0,70%. As atividades agropecuárias contribuem com a emissão de GEE à atmosfera, sendo o CH_4 largamente emitido nas produções de arroz inundado (5,2%), na fermentação entérica dos animais (16.4%) e na degradação de dejetos e resíduos (7,7%).

A quantificação da emissão de gases ruminais tem sido utilizada como indicativo da atividade microbiana presente no rúmen, sendo o CH_4 eructado responsável por parte da perda de energia bruta consumida (JOHNSON e JOHNSON, 1995). O metano é um subproduto da digestão de carboidratos por microrganismos presentes no trato digestório de herbívoros e, não sendo metabolizado pelo animal, é removido do rúmen por expiração ou eructação (MOSS, 1993). A fermentação que ocorre durante o metabolismo dos carboidratos ingeridos é um processo anaeróbio efetuado pela população microbiana ruminal, que converte os carboidratos estruturais (celulose e hemicelulose) e não estruturais (amido) em ácidos graxos de cadeia curta, principalmente ácidos acético, propiônico e butírico. Nesse processo são produzidos calor, CO_2 e CH_4, sendo a metanogênese parte do processo digestivo normal dos herbívoros ruminantes (VAN SOEST, 1994).

Durante a fermentação ruminal, organismos metanogênicos utilizam hidrogênio (H_2) e CO_2 para a síntese de CH_4 (WOLIN et al., 1997). Neste processo são necessários 4 mols de H_2 por mol de metano produzido, com gasto de energia 134 KJ por mol de CH_4. Assumindo-se que são necessários 37 KJ de energia para produzir um mol ATP (THAUER et al., 1977), um mínimo de 3 mols de ATP são utilizados para a redução do CO_2 e H_2 em CH_4 (MOSS, 1995).

Estudos com ruminantes apontaram que a emissão de metano entérica é dependente da quantidade e da qualidade da dieta (JOHNSON e JOHNSON, 1995; BENCHAAR et al., 2001; JOHNSON et al., 2007). Em geral, o consumo de alimentos com alta digestibilidade produz potencialmente menos metano por kg de carne produzida quando comparado aos de baixo valor nutricional (BENCHAAR et al.,

2001). Assim, animais confinados recebendo dietas com alta proporção de concentrado apresentam cerca de 2% do consumo de energia convertido em CH_4, enquanto cerca de 12% da energia consumida por animais alimentandos com forragem de baixa qualidade é perdida na forma de metano (JOHNSON et al., 2007).

Segundo Lassey (2002), diferentes quantidades de CH_4 podem ser produzidas por animais zebuínos, taurinos e cruzamentos, e estas variações estão associadas às distintas características dos animais, tais como volume do rúmen, capacidade de seleção de alimentos, tempo de retenção dos alimentos no rúmen e associações de fatores que conduzem a maior ou menor capacidade de digestão da fibra alimentar. Desta forma, observa-se que, além de fatores nutricionais (quantidade e tipo de carboidratos na dieta, nível de ingestão de alimento, presença de ionóforos ou lipídios) e ambientais (temperatura e manejo dos animais), as características intrínsecas aos animais são importantes causas das variações na eficiência da utilização da energia ingerida e das consequentes quantidades de CH_4 produzidas no rúmen.

2.2. Predição da emissão de metano entérico de ruminantes

O desenvolvimento de estratégias que visem à mitigação da emissão de CH_4 entérico torna-se possível a partir da quantificação deste gás nos sistemas de produção, devendo ser realizada de forma simples e acurada. Para tanto, diversos são os métodos de mensuração de gases, sejam de forma direta ou indireta.

Grande parte dos estudos que avaliam a emissão de CH_4 em ruminantes utilizam câmaras de respiração para mensuração (BLAXTER e CLAPPERTON, et al., 1965; NKRUMAH et al., 2006; FREETLY et al., 2013). Apesar da alta acurácia do método e da possibilidade da quantificação de outros gases concomitantemente, as câmaras são caras de se construir e operar e, naturalmente, não simulam o animal que se alimenta sob circunstâncias naturais (JOHNSON e JOHNSON, 1995).

A metodologia do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6), desenvolvida por Johnson et al. (1994), Boadi et al. (2001) e Johnson e Johnson (1995), capaz de quantificar a emissão de metano pela respiração e eructação dos animais tem sido

utilizada com resultados satisfatórios, sem a necessidade de confinamento dos animais para realização. Desta forma, animais sob condições de pastejo também podem ser avaliados com relação à emissão de CH_4. Segundo McGinn et al. (2006), a técnica do SF_6 subestimou a emissão de metano em 4% comparada aos resultados obtidos em câmara respiratória, porém a diferença não foi significativa ($P>0,05$) e possivelmente representativa de emissões de metano pós-ruminais. Ainda de acordo com os autores, a técnica do SF_6 apresenta alta acurácia e precisão quando usada em bovinos alimentados com dietas de alta proporção de volumosos e com restrição de consumo.

Outro método de mensuração da emissão de metano é a predição a partir de modelos matemáticos, utilizados por inventários nacionais de emissão de metano, já que estes são baseados em grande número de dados e, a mensuração direta de muitos animais necessitaria a realização de experimentos onerosos e trabalhosos. Estes modelos podem ser utilizados de forma direta, relacionando-se o consumo de nutrientes à emissão de metano, ou pela estimativa da emissão a partir de descrições matemáticas da bioquímica da fermentação ruminal (KEBREAB et al., 2006), com cálculos mais complexos.

Equações de predição de metano já foram desenvolvidas para bovinos e ovinos conjuntamente (BLAXTER e CLAPPERTON, 1965), vacas de leite (MILLS et al., 2003), bovinos de corte (ELLIS et al., 2009), bovinos de corte e de leite analisados juntos ou separadamente (ELLIS et al., 2007), entre outros. Entretanto, algumas das equações desenvolvidas se limitaram a animais e dietas de clima temperado ou variáveis não mensuradas comumente nos sistemas de produção. Portanto, o desenvolvimento e a validação de equações para animais e dietas utilizados em países de clima tropical ainda são necessários.

Sabe-se que a emissão de CH_4 entérico está diretamente relacionada ao consumo de alimentos (ELLIS et al., 2009) e as características nutricionais da dieta podem afetar de forma positiva ou negativa esta emissão. Fatores como proporção concentrado:volumoso na dieta, maturidade, espécie, método de conservação e processamento da forrageira utilizada, assim como a fonte de concentrado e taxa de degradação por exemplo, podem influenciar diretamente as emissões de CH_4 entérico (BENCHAAR et al., 2001).

Em geral, dietas com maiores porcentagens de carboidratos fibrosos apresentam potencial de emissão de CH_4 entérico maior, pois a fermentação destes compostos resulta em maiores perdas de energia bruta quando comparada a fermentação de açúcares e amido (BOADI et al., 2004). Ainda, segundo Holter e Young (1992), a digestibilidade da celulose e da hemicelulose é altamente correlacionada à emissão de metano, já que grande parte do hidrogênio ruminal é oriundo da fermentação dos carboidratos e muito do que é gerado durante a conversão de hexoses em acetato ou butirato, via piruvato, é convertido em CH_4 (BENCHAAR et al., 2001). Assim, fatores que contribuem para altas taxas e quantidades de acetato e butirato, como alta quantidade de fibra e frações com baixa taxa de passagem (HEGARTY e GERDES, 1998), resultam em aumento na emissão de CH_4.

2.3. Consumo Alimentar Residual (CAR) e emissão de metano

Identificar animais mais eficientes na utilização dos alimentos é uma ferramenta de grande importância na redução de custos de produção e na emissão de metano entérico, uma vez que estes apresentam menores perdas energéticas sob a forma de metano. Buscando uma nova medida de eficiência alimentar que reduzisse custos com alimentação sem alterar de forma negativa aspectos produtivos, Koch et al. (1963) sugeriram que o consumo alimentar poderia ser ajustado para peso corporal e ganho de peso, ou qualquer outra característica produtiva, e utilizado de forma a suprir os requerimentos de mantença, produção e ainda conter uma porção residual. Este novo modelo de eficiência proposto foi denominado consumo alimentar residual (CAR).

Consumo alimentar residual, definido como a diferença entre o consumo observado e o consumo esperado, sendo o último calculado em função do peso corporal metabólico e do ganho médio diário de peso, é uma medida de eficiência independente do nível de produção e do tamanho dos animais (CREWS, 2005). Assim, animais mais eficientes apresentam consumo observado menor que o predito e são classificados como baixo CAR e o inverso ocorre com animais alto CAR, os

quais apresentam consumo observado acima do esperado para mesmo desempenho produtivo, sendo então menos eficientes.

Diferenças fisiológicas e bioquímicas associadas à digestão e utilização de energia tem sido a base utilizada para explicar as diferenças individuais observadas em animais com CAR divergente. Herd e Arthur (2009), em estudo com animais Angus selecionados para CAR, observaram que cerca de 37% das variações entre as classes divergentes seriam devido ao turnover protéico, metabolismo tecidual e estresse, 10% estaria relacionado à digestibilidade, 9% ao incremento calórico e fermentação, e 5% à diferenças na composição corporal. Nkrumah et al. (2006), em estudo com bovinos cruzados alimentados à mantença, observaram associações entre CAR e digestibilidade aparente da matéria seca e da proteína bruta. Assim como reportado por Richardson et al. (1996), que também encontraram maior digestibilidade da matéria seca para animais classificados como baixo CAR, concluindo que pequenas diferenças na digestibilidade podem resultar em grandes mudanças na eficiência alimentar. Russell e Gahr (2000) observaram que variações individuais em fatores como digestão e absorção, tempo de retenção ruminal e comportamento alimentar podem contribuir para diferenças no CAR, estando intimamente associados ao consumo.

A seleção genética para baixo CAR pode resultar em progênies que consomem menos, com maior aproveitamento da dieta, sem alterações no desempenho (NKRUMAH et al., 2006). Arthur et al. (2001), em machos e fêmeas da raça Angus avaliados em testes de eficiência, observaram que CAR foi positivamente correlacionado ao consumo de matéria seca, mas não apresentou correlação com ganho de peso e peso corporal metabólico, com estimativa de herdabilidade de 0,39. De acordo com Pinares-Patiño et al. (2013), a emissão de metano apresenta estimativa de herdabilidade moderada (h^2 = 0,29), podendo ser utilizada como critério de seleção juntamente com outras características de produção na seleção de animais que apresentam menores emissões.

A grande associação entre consumo alimentar e emissão de metano é reflexo de maiores quantidades de substrato para fermentação ruminal e maior suprimento de H_2 para os microrganismos ruminais produtores de CH_4 (HEGARTY et al., 2007). Consequentemente, a seleção de animais mais eficientes (CAR baixo)

oferece uma oportunidade para a redução na emissão de CH_4 por ruminantes, entretanto, estudos relacionando estas duas características são contraditórios. Hegarty et al. (2007) e Fitzsimons et al. (2013) encontraram menor emissão de CH_4 e consumo de matéria seca para animais baixo CAR. Nkrumah et al. (2006) não observaram variação no consumo de matéria seca de animais classificados quanto ao CAR, entretanto, a emissão de CH_4 entérico expressa em g/d foi 28% e 24% menor para animais baixo e médio CAR, quando comparados aos alto CAR. Já Freetly et al. (2013) sugeriram que a emissão de CH_4 pode aumentar com o aumento da eficiência alimentar, não suportando a hipótese original de que a melhora na eficiência causaria redução na emissão deste gás. Entretanto, são necessários mais estudos para elucidar as relações entre CH_4 e CAR.

Assim, este trabalho foi conduzido com o objetivo de desenvolver equações de predição de emissão metano para bovinos de corte avaliados em condições de clima tropical, avaliar a acurácia de equações descritas na literatura sob as condições estudadas, avaliar a herdabilidade da emissão de metano e estabelecer relações entre emissão de CH_4 e eficiência alimentar de bovinos Nelore em crescimento.

3. REFERÊNCIAS

ARCHER, J.A.; RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; et al. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.50, p.147-161, 1999.

ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A; HERD, R.M. Response to selection for net feed intake in beef cattle. In: Animal Breeding and Genetics, 2001. **Proceedings...** v.13, p.135-138. 2001.

BENCHAAR, C.; POMAR, C.; CHIQUETTE, J. Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: A modelling approach. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 81, p. 563-574, 2001.

BLAXTER, K. L.; CLAPPERTON, J. L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. **Br. J. Nutr**, v. 19, p. 511-522, 1965.

BOADI, D.; BENCHAAR, C.; CHIQUETTE, J.; MASSÉ, D. Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review. **Canadian Journal of Animal Science**, v.84, p.319-335, 2004.

BOADI, D.A., WITTENBERG, K.M.; KENNEDY, A.D. Validation of the sulphur hexafluoride (SF6) tracer gas technique for measurement of methane and carbon dioxide production by cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v.82, p. 125-131. 2001.

CREWS, D. H. Genetics of efficient feed utilization and national cattle evaluation: A review. **Animal Production Science**, v. 51, p. 491-514, 2005.

DONG, Y.; BAE, H. D.; McALLISTER, T. A.; MATHISON, G. W.; CHENG, MK. L. Lipid-induced depression of methane production and digestibility in the artificial rumen systems (RUSITEC). **Canadian Journal of Animal Science**, v. 77, p. 269-278, 1997.

ELLIS, J. L.; KEBREAB, K.; ODONGO, N. E.; BEAUCHEMIN, K.; McGINN, S.; NKRUMAH, J. D.; MOORE, S. S.; CHRISTOPHERSON, R.; MURDOCH, G. K.; McBRIDE,. B. W.; OKINE, E. K.; FRANCE, J. Modeling methane production from beef cattle using linear and nonlinear approaches. **Journal of Animal Science**, v. 87, p. 1334-1345, 2009.

ELLIS, J. L.; KEBREAB, K.; ODONGO, N. E.; McBRIDE, B. W.; OKINE, E. K.; FRANCE, J. Prediction of methane production from dairy and beef cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 90, p. 3456–3466, 2007.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. Disponível em: < http://faostat.fao.org/. Acesso em 30 de junho de 2014.

FITZSIMONS, C.; KENNY, D. A.; DEIGHTON, M. H.; FAHEY, A. G.; McGREE, M. Methane emissions, body composition, and rumen fermentation traits of beef heifers

differing in residual feed intake. **Journal of Animal Science**, v. 91, p. 5789-5800, 2013.

FREETLY, H. C.; BROWN-BRANDL, T. M. Enteric methane production from beef cattle that vary in feed efficiency. **Journal of Animal Science**, v. 91, p. 4826-4831, 2013.

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

HEGARTY, R.; GERDES, R. Hydrogen production and transfer in the rumen. **Rec. Adv. Animal Nutrition**, v. 12, p-. 37-44, 1998.

HERD, R. M.; ARTHUR, P. F. Physiological basis for residual feed intake. **Journal of Animal Science**, v.87, p. E64-E71, 2009.

HERD, R.M.; HEGARTY, R.S.; DICKER, R.W. Selection for residual feed intake improves feed conversion in steers on pasture. **Animal Production in Australia**. v.24, p.85–88, 2002.

HOLTER, J. B.; YOUNG, A. J. Nutrition, feeding and calves: methane prediction in dry and lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v 75, p. 2165-2175, 1992.

JOHNSON, K.A.; WESTBERG, H.H.; MICHAL, J.J. et al. The SF_6 tracer technique: methane measurement from ruminant. H.P.S. Makkar and P.E. Vercoe (eds.), **Measuring Methane Production from Ruminants**, p. 33–67, 2007.

JOHNSON, K.A.; WESTBERG, H.H.; LAMB, B.K. et al. The use of sulfur hexafluoride for measuring methane from farm animals. In: Greenhouse Gases in Animal Agriculture, 2001. **Proceedings…** Obihiro, Hokkaido, Japan. p. 72-79, 2001.

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

JOHNSON, K.A.; HUYEL, M.; WESTBERG, H.; LAMB, L.; ZIMMERMAN, P. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF6 tracer technique. **Environmental Science and Technology**, Washington, DC, v.28, p.359-362, 1994.

KEBREAB, E.; CLARK, K.; WAGNER-RIDLLE, C.; FRANCE, J. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: A review. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 86, p. 135–158, 2006.

KOCH, R.M.; SWIGER, L.A.; DOYLE, C. et al. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.22, p.486-494, 1963.

LASSEY, K.R. Methane emission by grazing livestock: some findings on emission determinants. **Proceedings of 3th International Symposium of NON-CO2 greenhouse gases**, Netherlands. p.95-100, 2002.

MATHISON, G. W. Effect of canola oil on methane production in steers. Canadian Journal of Animal Science, v. 77, p. 545-546 (Abstr.), 1997.

McGINN, S. M.; BEAUCHEMIN, K. A.; IWAASA, A. D.; McALLISTER, T. A. Assessment of the sulfur hexafluoride (SF_6) tracer technique for measuring enteric methane emissions from cattle. **Journal of Environmental Quality**, v.35, p. 1686-1691, 2006.

MILLS, J. A. N.; KEBREAB, E. C.; YATES, M.; CROMPTON, L. A.; CAMMELL, S. B.; DHANOA, M. S.; AGNEW, R. E.; FRANCE, J. Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cows. **Journal of Animal Science**, v. 81, p. 3141–3150, 2003.

MLA 2012. Meat and livestock Australia fast facts 2012, Australia's beef industry. Disponível em: < http://www.mla.com.au/Publications-tools-and-events/. Acesso em 25 de janeiro de 2014.

MOSS, A.R.; GIVENS, D.I.; GARNSWORTH, P.C. The effect of supplementing grass silage with barley on digestibility, in sacco degradability, rumen fermentation and methane production in sheep at two levels of intake. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdan, v.55, n.1, p.9-33, 1995.

MOSS, A.R. Methane: global warning and production by animals. **Kingston: Chalcombe Publications**, 1993. 105p.

NKRUMAH, J.D.; OKINE, E.K.; MATHISON, G.W. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.84, p.145-153, 2006.

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

O´MARA, F. P. The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166, p.7-15, 2011.

PEDREIRA, S.M. **Estimativa da produção de metano de origem animal por bovinos tendo como base a utilização de alimentos volumosos: utilização da metodologia do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6).** 2004. 136f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

PINARES-PATIÑO, C. S.; HICKEY, S. M.; YOUNG, E. A.; DODDS, K. G.; MACLEAN, S.; MOLANO, G.; SANDOVAL, E.; KJESTRUP, H.; HARLAND, R.; HUNT, C.; PICKERING, N. K.; McEWAN, J. C. Heritability estimates of methane emissions from sheep. **Animal**, v.7, s.2, p. 316-321, 2013.

RICHARDSON, E. C.; HERD, R. M.; ARTHUR, P. F.; WRIGHT, J.; XU, G.; DIBLEY, K.; ODDY, H. Possible physiological indicators of net feed conversion efficiency. **Proc. Australian Soc. Animal**, v. 21, p. 901–908, 1996.

RUSSELL, R. W.; GAHR, S. A. Glucose availability and associated metabolism. Pages 121–147 in **Farm Animal Metabolism and Nutrition**. J. P. F. D'Mello, ed. CAB Intl. Publ., Wallingford, UK, 2000.

THAUER, R.K.; JUNGERMANN, K.; DECKER, K. Energy conservation in chemotropic anaerobic bacteria. **Bacteriological Reviews**, Madison, v.41, n.1, p.80-100, 1977.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant.** Ithaca: Cornell University Pre3ss, 1994. 476p.

WOLLIN, M.J.; MILLER, T.L.; STEWART, C.S. Microbe-microbe interactions. In: ROBSON, P.J.; STEWART, C.S. (Eds.). **The Rumen Microbial Ecosystem**. 2 ed. London: Blackie Academic and Professional, 1997. p. 467-491.

CAPÍTULO 2 – DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DA EMISSÃO DE METANO DE BOVINOS NELORE EM CLIMA TROPICAL

Resumo – Os ruminantes são importantes contribuintes da emissão de metano antropogênico para a atmosfera, sendo este produzido por microrganismos no rúmen em condições anaeróbicas. Recentes pesquisas têm focado no desenvolvimento de equações de predição da emissão de metano visando avaliar estratégias de mitigação das emissões deste gás. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de desenvolver equações de predição da emissão metano entérico para bovinos de corte em crescimento sob condições de clima tropical e avaliar equações descritas na literatura quanto a acurácia sob as condições estudadas. Quarenta e oito bovinos Nelore foram avaliados quanto ao consumo de matéria seca, consumo de nutrientes e emissão de metano. As equações foram geradas com base nos dados de consumo e avaliadas pela raiz quadrada do quadrado médio do erro de predição (RQME) e por regressão residual. A partir dos dados de emissão de metano obtidos *in vivo*, foram validadas equações descritas na literatura, avaliadas de acordo com os mesmos critérios utilizados para as novas equações geradas. Equações incluindo as variáveis consumo de matéria seca e consumo de hemicelulose, consumo de matéria seca e consumo de carboidratos totais, consumo de energia metabolizável e consumo de celulose e consumo de carboidratos não fibrosos apresentaram os menores valores de RQME, sendo consideradas as mais ajustadas para o conjunto de dados estudado. Uma equação baseada no consumo de matéria seca foi gerada com resultados promissores para a predição da emissão de metano, com baixo valor de RQME (17 %) comparada às encontradas na literatura. Cinco das 17 equações descritas na literatura puderam predizer a emissão de metano adequadamente apresentando os menores valores de RQME dentre as equações avaliadas. Entretanto, as equações desenvolvidas no presente estudo apresentaram-se mais acuradas na predição da emissão de metano avaliando-se sob o mesmo parâmetro. O consumo de carboidratos parece estar intimamente relacionado à emissão de metano entérico e, de forma geral, equações baseadas no consumo deste constituinte apresentaram melhora na predição quando incluíam também consumo de matéria seca. A seleção da melhor equação a ser utilizada na predição da emissão de metano deve basear-se na disponibilidade da variável utilizada, a qual deve estar de preferência, relacionada ao tipo de dieta fornecida aos animais.

Palavras-chave: bovinos de corte, consumo de matéria seca, equações de predição, hexafluoreto de enxofre, metano

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que o metano e o óxido nitroso, assim como o CO_2, contribuem significativamente para o aquecimento global. Em 2010, as emissões destes gases derivadas da pecuária mundial tiveram aumento de cerca de 9% no total das emissões de GEE (CARO et al., 2014). De fato, constatou-se que no período de 1960-2001 houve um aumento de 51% nas emissões globais de GEE oriundos da pecuária, principalmente devido ao crescimento das emissões dos rebanhos mantidos em países em desenvolvimento (+117%), sendo o rebanho bovino responsável por 74% das emissões globais deste setor (CARO et al., 2014).

Embora no passado os estudos sobre emissão de metano entérico tenham focado na eficiência alimentar, atualmente o alvo das pesquisas tem sido a contribuição deste gás para as mudanças climáticas e o aquecimento global. Em ruminantes, a quantificação da emissão de gases ruminais tem sido utilizada como indicativo da atividade microbiana presente no rúmen, e o metano eructado é responsável por cerca de 2 a 12% de perda da energia bruta ingerida dependendo do nível de alimentação, composição da dieta e demais fatores (JOHNSON e JOHNSON, 1995).

Inventários da emissão de gases de efeito estufa, em geral, utilizam modelos matemáticos para a predição da emissão de metano entérico de bovinos, sem a necessidade da realização de experimentos onerosos e trabalhosos. Estes modelos podem ser utilizados de forma direta, relacionando-se o consumo de nutrientes à emissão de metano, ou pela estimativa da emissão a partir de descrições matemáticas da bioquímica da fermentação ruminal (KEBREAB et al., 2006), com cálculos mais complexos.

Equações de predição de metano existentes na literatura e desenvolvidas para bovinos e ovinos conjuntamente (BLAXTER e CLAPPERTON, 1965), vacas de leite (MILLS et al., 2003), bovinos de corte (ELLIS et al., 2009), bovinos de corte e de leite analisados juntos ou separadamente (ELLIS et al., 2007), entre outros, limitam-se a avaliação de animais e dietas de clima temperado e portanto, o desenvolvimento e a validação de equações para animais e dietas utilizados em países de clima tropical ainda são necessários.

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de desenvolver equações de predição de emissão metano para bovinos de corte avaliados em condições de clima tropical e avaliar a acurácia de equações descritas na literatura sob as condições estudadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização do experimento

O experimento foi conduzido no Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica dos Agronegócios de Bovinos de Corte, órgão do Instituto de Zootecnia do Estado de São Paulo. O centro de pesquisa localiza-se na região norte do estado de São Paulo e está situado a 21º10´ de latitude sul e 48º5´ de longitude oeste, região de clima tropical úmido, com temperatura média anual de 24ºC e precipitação média anual de 1.312 mm.

2.2. Animais e Dieta

Vinte e quatro machos e vinte e quatro fêmeas da raça Nelore (aproximadamente 332±35 kg de peso corporal inicial) alojados em baias individuais foram avaliados por cinco dias quanto ao consumo de matéria seca e nutrientes e à emissão de metano entérico. Apesar do consumo ter sido calculado somente durante o período de mensuração da emissão de metano (5 dias), a correlação simples entre este e o consumo de matéria seca obtido em prova de ganho de peso durante 84 dias foi alta (0,842, $P<0,0001$).

A dieta oferecida aos animais foi composta de feno de *Brachiaria brizantha* cv Marandu (44,5% MS), milho moído (32,2% MS), farelo de algodão (21,4% MS), ureia (0,45% MS), sulfato de amônio (0,05% MS) e suplemento mineral (1,95% MS), com relação volumoso:concentrado de 45:55 (Tabela 1), fornecida duas vezes ao dia (8 e 16 horas) e ajustada individualmente para permitir sobras de 5 a 10%, garantindo consumo *ad libitum*. Amostras de sobras de alimento individuais foram coletadas durante os cinco dias de análise e os ingredientes da dieta foram amostrados no

primeiro dia do experimento. Todas as amostras foram congeladas e armazenadas para posteriores análises bromatológicas.

Tabela 1. Composição química da dieta.

Nutrientes	Ingredientes			Dieta Total
	Feno	Milho	Farelo algodão	
MS, %	89,4	85,7	88,6	86,8
MO, %MS	94,4	97,9	94,8	94,1
Cinzas, %MS	5,56	2,07	5,26	4,2
PB, %MS	5,77	10,2	31,5	13,9
EE, %MS	1,22	7,88	1,71	3,45
FDN, %MS	77,4	45,1	60,9	62,0
FDNcp, %MS	74,3	41,6	56,9	58,7
FDA, %MS	44,4	5,74	33,6	28,8
Lignina, %MS	6,81	0,65	11,1	5,62
Celulose, %MS	37,6	5,09	22,5	23,2
Hemicelulose, %MS	33,0	39,4	27,3	33,2
NDT, %MS	53,5	80,7	48,9	60,2
CHOT, %MS	87,5	79,9	61,5	78,4
CNF, %MS	13,1	38,3	4,56	19,8
EB, Mcal/kg	4,18	4,52	4,50	4,28
ED, Mcal/kg	2,36	3,64	2,28	2,71
EM, Mcal/kg	1,93	3,22	1,85	2,29

MS = matéria seca; MO = matéria orgânica; PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; FDN = fibra em detergente; FDNcp = fibra em detergente neutro isenta de cinzas e proteína; FDA = fibra em detergente ácido; NDT = nutrientes digestíveis totais; CHOT = carboidratos totais; CNF = carboidratos não fibrosos; EB = energia bruta; ED = energia digestível; EM = energia metabolizável.

Amostras da dieta e das sobras foram secas a 55℃ por 72 horas e moídas em moinho de facas em peneira de 1 mm. Foram determinados teores de matéria seca (AOAC - Oficial Método 934,01), matéria mineral (AOAC - Oficial Método 942,05) e extrato etéreo (AOAC - Oficial Método 920,39) de acordo com AOAC (1990). O teor de proteína bruta foi determinado a partir do valor de nitrogênio obtido pelo método de combustão de Dumas em analisador Leco® FP-528, e o valor multiplicado por 6,25 (ETHERIDGE et al., 1998).

Energia bruta foi obtida pela combustão das amostras em bomba calorimétrica adiabática (PARR Instruments). A fibra em detergente neutro foi determinada usando α-amilase sem a adição de sulfito de sódio, de acordo com Van Soest, Robertson e Lewis (1991) e adaptada para Ankom 200 Fiber Analyzer (Ankom Tecnologia, Fairport, NY), posteriormente corrigidas para cinzas e proteína. A fibra em detergente ácido foi determinada usando o método descrito por Goering e Van Soest (1970) e adaptada para Ankom 200 Fiber Analyzer (Ankom Tecnologia, Fairport, NY). A lignina foi determinada por solubilização da celulose em ácido sulfúrico de acordo com Van Soest e Robertson (1985).

Energia metabolizável e nutrientes digestíveis totais foram calculados de acordo com NRC (2001). Carboidratos não fibrosos foram determinados em porcentagem pela fórmula: 100 – (proteína bruta% + extrato etéreo% + matéria mineral% + fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas%) de acordo com Sniffen et al. (1992). Carboidratos totais foram calculados em porcentagem como: 100 – (proteína bruta% + extrato etéreo% + matéria mineral%).

2.3. Mensuração do metano entérico

Na quantificação da emissão diária de metano entérico foi utilizada metodologia do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6), desenvolvido pela Universidade de Washington (JOHNSON e JOHNSON, 1995) e adaptada no Brasil por Primavesi et al. (2004). Para esta técnica foi utilizada uma fonte emissora de gás SF_6 (tubo de permeação) com fluxo constante conhecido, introduzida no rúmen do animal por via oral. Antes do início do experimento, as cápsulas de SF_6 foram monitoradas quanto à taxa de liberação, permanecendo em béquer imerso em banho-maria a temperatura de 39ºC durante quatro a seis semanas e pesadas semanalmente para determinação da taxa de emissão de SF_6. Após esse processo foram introduzidas no rúmen dos animais uma semana antes do início do experimento. Os gases expelidos pela boca e narinas foram captados por equipamento fixo ao cabresto e conectado a um depósito de PVC (policloreto de vinil) de 60 mm de classe 20, denominado “canga”. As cangas foram submetidas à vácuo de 0,1 atm para serem preenchidas pelos gases captados a ½ atm em 24 horas.

Os animais foram adaptados aos aparatos de amostragem (cangas e cabrestos) por período de 15 dias. As coletas de metano foram realizadas por cinco dias consecutivos, a cada 24 horas. Para correção das concentrações atmosféricas de metano no interior da instalação, amostras de gás foram coletadas a partir do ar do ambiente com duas cangas de coleta por dia ("branco"), penduradas na entrada e na saída do galpão.

As determinações de metano foram realizadas no laboratório de Ecologia Química da Embrapa Meio Ambiente em Jaguariúna/SP em cromatógrafo a gás HP6890. O fluxo de metano liberado pelo animal foi calculado em relação ao fluxo de SF_6, correlacionando os resultados à taxa conhecida de liberação do traçador no rúmen, subtraído das concentrações basais de metano (WESTBERG et al., 1998):

$$Q_{CH4} = Q_{SF6} * ([CH_4]_Y - [CH_4]_B)/[SF_6]$$

em que Q_{CH4} = taxa de emissão de metano pelo animal; Q_{SF6} = taxa conhecida de emissão de SF_6; $[CH_4]_Y$ = concentração de metano na canga; $[CH_4]_B$ = concentração de metano no branco e $[SF_6]$ = concentração de hexafluoreto de enxofre na canga.

A conversão de metano em gramas para unidade energética foi realizada segundo o fator de conversão apresentado por Holter e Young (1992).

2.4. Análise estatística

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado. Os valores médios de consumo foram obtidos pelo PROC MEANS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) e a correlação entre as variáveis de consumo e a emissão de CH_4 (MJ/d) foi determinada utilizando-se o PROC CORR (SAS Inst. Inc., Cary, NC). A correlação foi utilizada como indicativa da relação entre a emissão de metano e as variáveis de consumo utilizadas no desenvolvimento das equações de predição.

2.4.1. Avaliação das equações desenvolvidas

Equações de regressão foram desenvolvidas pelo PROC MIXED (SAS Inst. Inc., Cary, NC), iniciando-se pela inserção de uma variável de cada vez no modelo e progredindo para a combinação de duas ou mais variáveis, de acordo com o

conhecimento prévio da literatura de que consumo de matéria seca e consumo de energia metabolizável, por exemplo, são consideradas boas preditoras da emissão de metano (AXELSSON, 1949; JOHNSON e JOHNSON, 1995; MILLS et al., 2003). Determinadas variáveis analisadas individualmente como consumo de extrato etéreo e consumo de energia bruta não geraram modelos significativos ($P<0,05$), assim como ocorreu para as equações múltiplas incluindo consumo de matéria seca e consumo de fibra em detergente ácido e consumo de matéria seca e consumo de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas. O sexo dos animais foi avaliado como efeito aleatório para a retirada do efeito das diferenças no consumo entre machos e fêmeas.

Para a validação das equações desenvolvidas foi utilizado método “leave one out”, onde uma única observação é deixada de fora dos dados de treinamento e posteriormente usada para teste, sendo o método repetido até que todas as observações sejam retiradas e consequentemente usadas como teste, para cada equação avaliada. Assim, a soma de quadrado médio do erro de predição foi calculada para cada equação como:

$$QME = \sum^{n}_{i=1} (O_i - P_i)^2/n$$

em que, O_i é o valor de emissão de CH_4 da observação deixada de fora dos dados de treinamento em MJ/d e P_i é o valor de emissão de metano predito pela equação testada (sem a observação O_i) em MJ/d. Na estimativa do erro de predição geral foi utilizada a raiz quadrada do quadrado médio do erro de predição (RQME), expressa como proporção da média observada. Essa medida é realizada com base na média observada e, portanto, comparações de valores de RQME (%) podem ser feitas entre equações com diferentes médias de predição, e o desvio dos valores observados pode, assim, ser avaliado. As melhores equações foram escolhidas baseadas nos menores valores de RQME.

As equações foram avaliadas por regressão residual (emissão de metano observado menos emissão de metano predito) sobre a predição centralizada em suas respectivas médias (St-PIERRE, 2003). O intercepto da equação foi utilizado

para estimar o viés médio, enquanto o viés linear foi avaliado pela inclinação da reta da equação de regressão.

2.4.2. Avaliação das equações descritas na literatura

A partir dos dados de emissão de metano obtidos pela metodologia do gás traçador SF_6 e consumo de nutrientes, foram avaliadas equações descritas na literatura selecionadas de acordo com a disponibilidade das variáveis (Tabela 2). Foi avaliada correlação entre a emissão de metano observada e o valor predito para cada equação testada (PROC CORR - SAS Inst. Inc., Cary, NC). As equações com menores RQME, ausência de viés (médio e linear) e maiores valores de correlação entre a emissão de metano observada e predita foram consideradas as mais ajustadas para os dados avaliados.

Tabela 2. Lista de equações publicadas utilizadas na predição da emissão de metano entérico por bovinos

Fonte	Equação
Ellis et al. (2009) Eq. A	CH_4 (MJ/d) = 2,29 + 0,670 x CMS (kg/d)
Ellis et al. (2009) Eq. B	CH_4 (MJ/d) = 3,05 + 3,71 x CCEL (kg/d)
Ellis et al. (2009) Eq. D	CH_4 (MJ/d) = 6,01 + 0,345 x CCNF (kg/d)
Ellis et al. (2007) Eq. 1b	CH_4 (MJ/d) = 4,38 + 0,0586 x CEM (MJ/d)
Ellis et al. (2007) Eq. 2b	CH_4 (MJ/d) = 3,96 + 0,561 x CMS (kg/d)
Ellis et al. (2007) Eq. 4b	CH_4 (MJ/d) = 5,263 + 6,93 x CLIG (kg/d)
Ellis et al. (2007) Eq. 5b	CH_4 (MJ/d) = 5,58 + 0,848 x CFDN (kg/d)
Ellis et al. (2007) Eq. 6b	CH_4 (MJ/d) = 5,70 + 1,41 x CFDA (kg/d)
Ellis et al. (2007) Eq. 7b	CH_4 (MJ/d) = 3,05 + 0,0371 x CEM (MJ/d) + 0,801 x CFDN (kg/d)
Ellis et al. (2007) Eq. 8b	CH_4 (MJ/d) = 3,31 + 0,0382 x CEM (MJ/d) + 1,05 x CFDA (kg/d)
Ellis et al. (2007) Eq. 11b	CH_4 (MJ/d) = 2,30 + 1,12 x CMS (kg/d) – 6,26 x CLIG (kg/d)
Ellis et al. (2007) Eq. 12b	CH_4 (MJ/d) = 2,70 + 1,16 x CMS (kg/d) – 15,8 x CEE (kg/d)
Ellis et al. (2007) Eq. 14b	CH_4 (MJ/d) = 2,94 + 0,0585 x CEM (MJ/d) + 1,44 x CFDA (kg/d) – 4,16 x CLIG (kg/d)
Axelsson (1949)	CH_4 (MJ/d) = -2,07 + 2,636 x CMS (kg/d) – 0,105 x CMS^2 (kg/d)
Mills et al. (2003) Linear 1	CH_4 (MJ/d) = 5,93 + 0,92 x CMS (kg/d)
Mills et al. (2003) Linear 2	CH_4 (MJ/d) = 8,25 + 0,07 x CEM (MJ/d)
Moe e Tyrrel (1979)	CH_4 (MJ/d) = 0,341 + 0,511 x CCNF (kg/d) + 1,75 x CHEM (kg/d) + 2,652 x CCEL (kg/d)

CMS = consumo de matéria seca; CCEL = consumo de celulose; CCNF = consumo de carboidratos não fibrosos; CEM = consumo de energia metabolizável; CLIG = consumo de lignina; CFDN = consumo de fibra em detergente neutro; CFDA = consumo de fibra em detergente ácido; CEM = consumo de energia metabolizável; CEE = consumo de extrato etéreo; CHEM = consumo de hemicelulose.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Consumo de nutrientes e emissão de metano

Na Tabela 3 estão apresentadas as estatísticas descritivas de variáveis relativas ao peso, consumo de nutrientes e emissão de metano de bovinos Nelore em confinamento.

Tabela 3. Estatística descritiva das variáveis relativas ao peso, consumo de nutrientes e emissão de metano (n = 48)

Variável	Média	SD	CV (%)	Mínimo	Máximo
PV, kg	332	35,3	10,6	225	409
CMS, kg/d	7,49	0,770	10,3	5,41	9,14
CMO, kg/d	7,04	0,739	10,5	5,05	8,64
CEM, MJ/d	72,6	7,32	10,1	53,1	87,4
CEB, MJ/d	1,35	0,130	9,66	0,989	1,610
CPB, kg/d	1,08	0,107	9,64	0,795	1,30
CEE, kg/d	0,269	0,048	17,7	0,185	0,367
CFDNcp, kg/d	4,32	0,449	10,4	3,11	5,29
CFDA, kg/d	2,09	0,244	11,7	1,46	2,66
CLIG, kg/d	0,413	0,046	11,2	0,319	0,504
CCEL, kg/d	1,69	0,229	13,5	1,15	2,20
CHEM, kg/d	2,48	0,252	10,1	1,79	3,00
CCHOT, kg/d	5,69	0,63	11,0	4,02	7,08
CCNF, kg/d	1,38	0,209	15,2	0,909	1,79
CNDT	4,58	0,471	10,3	3,32	5,56
Emissão de metano					
CH_4, MJ/d	8,17	1,47	18,0	5,07	12,2
CH_4, g/d	148	26,6	18,0	92,0	222
CH_4, kg/ano	54,1	9,72	18,0	33,6	81,0
CH_4, g/kg CMS	19,9	3,13	15,7	11,8	26,8
CH_4, % CEB	6,10	1,13	18,6	3,57	9,49

PV = peso vivo; CMS = consumo de matéria seca; CMO = consumo de matéria orgânica; CEM = consumo de energia metabolizável; CEB = consumo de energia bruta; CPB = consumo de proteína bruta; CEE = consumo de extrato etéreo; CFDNcp = consumo de fibra em detergente neutro isenta de cinzas e proteína; CFDA = consumo de fibra em detergente ácido; CLIG = consumo de lignina; CCEL = consumo de celulose; CHEM = consumo de hemicelulose; CCHOT = consumo de carboidratos totais; CCNF = consumo de carboidratos não fibrosos, CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais.

Os animais apresentaram peso corporal médio de 332 ± 35,3 kg, com diferença de 184 kg entre o maior e o menor valor observado, variação representativa da análise conjunta de machos e fêmeas com diferença de idade de até três meses.

O consumo de matéria seca médio foi equivalente a 2,3% do peso vivo, semelhante aos valores de 2,5% encontrados por Corvino et al. (2011) e Hulshof et al. (2012), em novilhos Nelore e cruzados Nelore x Guzerá, respectivamente.

A emissão de metano média foi de 8,17 MJ/d, correspondendo a aproximadamente 20 g CH_4/kg matéria seca consumida. Experimentos utilizando fêmeas da raça Charolês realizados por Boadi e Wittenberg (2002), Foley et al. (2009) e Hart et al, (2009) constataram emissões de 31, 25 e 26 g CH_4/kg CMS, respectivamente.

A perda de energia na forma de metano, definida pela porcentagem do metano entérico produzido expresso em função do consumo de energia bruta foi em média 6,1%, valor abaixo do previsto pelo IPCC (2006) de 6,5% a 7,5% para bovinos em condições tropicais. De acordo com Benchaar et al. (2001), a emissão de metano expressa em Mcal/d aumenta quando a porcentagem de concentrado da dieta aumenta de 0 para 20%, e diminui em dietas com alta porcentagem de concentrado. Esse fato explicaria as menores perdas de metano observadas nesse estudo no qual a dieta apresenta relação volumoso:concentrado de 45:55% e as maiores perdas descritas por Boadi e Wittenberg (2002) e Hart et al. (2009) que apresentavam relação volumoso:concentrado de 90:10 e 100% de volumoso, respectivamente. Entretanto, essa explicação não é suficiente para avaliar os resultados observados por Foley et al. (2009) os quais utilizaram dieta de relação volumoso:concentrado de 40:60. Neste caso, é possível que os maiores níveis de perda de metano observados tenham relação com o maior consumo de matéria seca dos animais (9,39 kg/d).

3.2. Desenvolvimento de equações para predição da emissão de metano

Com exceção do consumo de lignina, as demais variáveis de consumo analisadas foram positivamente correlacionadas com a emissão de metano (Tabela 4).

A correlação entre emissão de CH_4 e consumo de matéria seca foi semelhante à reportada por Fitzsimons et al. (2013) de 0,43. Consumo de matéria seca e consumo de energia metabolizável são as variáveis mais comumente utilizadas para predizer a emissão de metano entérico (AXELSSON, 1949; JOHNSON e JOHNSON, 1995; MILLS et al., 2003; ELLIS et al., 2007) e, apesar da correlação entre estas variáveis e a emissão de metano não apresentarem alta

magnitude (Tabela 4), as equações de predição envolvendo somente estas variáveis, sem a inclusão de outras, revelaram baixos valores de RQME (Tabela 5, Equação 1 e Equação 6).

Tabela 4. Correlação de Pearson entre CH_4 (MJ/d) e as variáveis de consumo

Variável	**CH_4 (MJ/d)**	***P***
CMS, kg/d	0,40	0,005
CMO, kg/d	0,43	0,002
CEM, MJ/d	0,37	0,010
CED, MJ/d	0,37	0,010
CPB, kg/d	0,40	0,005
CEE, kg/d	-0,40	0,005
CFDNcp, kg/d	0,36	0,011
CFDA, kg/d	0,50	0,0003
CLIG, kg/d	-0,009	0,952
CCEL, kg/d	0,58	<0,0001
CHEM, kg/d	0,35	0,015
CCHOT, kg/d	0,47	0,0007
CCNF, kg/d	0,63	<0,0001
CNDT	0,41	0,004

CMS = consumo de matéria seca; CMO = consumo de matéria orgânica; CEM = consumo de energia metabolizável; CED = consumo de energia digestível; CPB = consumo de proteína bruta; CEE = consumo de extrato etéreo; CFDNcp = consumo de fibra em detergente neutro isenta de cinzas e proteína; CFDA = consumo de fibra em detergente ácido; CLIG = consumo de lignina; CCEL = consumo de celulose; CHEM = consumo de hemicelulose; CCHOT = consumo de carboidratos totais; CCNF = consumo de carboidratos não fibrosos, CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais.

Neste estudo, o consumo de energia metabolizável foi obtido através de cálculos baseados na dieta e nas sobras de alimento dos animais avaliados e, por essa razão, apresentou resultados satisfatórios assim como os obtidos quando utilizado o consumo de matéria seca, corroborando com Mills et al. (2003), os quais afirmaram ser esperada maior relação entre consumo de energia metabolizável e emissão de metano comparado ao consumo de matéria seca. Contrariamente, Ellis et al. (2007) observaram que a utilização do consumo de matéria seca em equações de predição da emissão de metano de bovinos gerou menores valores de RQME quando comparadas às equações desenvolvidas a partir do consumo de energia metabolizável. Segundo os autores, este resultado era esperado já que o consumo de energia metabolizável foi calculado a partir de dados nutricionais presentes na literatura e não obtidos dos animais utilizados nos experimentos.

A alta correlação observada entre consumo de carboidratos não fibrosos e emissão de metano (Tabela 4) indicou o potencial desta variável na predição da emissão deste gás em modelos matemáticos. De fato, a equação baseada no

consumo de carboidratos não fibrosos apresentou baixo RQME (Tabela 5 - Equação 15). Segundo Moe e Tyrrel (1979) e Mills et al. (2003), os componentes desta fração composta por açucares, amido e pectina podem ser utilizados como preditores da emissão de metano com resultados satisfatórios, já que apresentaram alta correlação com esta variável.

Equações incluindo as variáveis consumo de matéria seca e consumo de hemicelulose (Tabela 5 - Equação 4) ou consumo de matéria seca e consumo de carboidratos totais (Tabela 5 - Equação 5) apresentaram os menores valores de RQME, sendo consideradas as mais ajustadas para o conjunto de dados estudado. O mesmo foi observado quando incluídas as variáveis consumo de energia metabolizável e consumo de celulose (Tabela 5 - Equação 7). Equações incluindo consumo de energia metabolizável e outras variáveis não foram significativas na predição de emissão de metano (dados não apresentados). Segundo Holter e Young (1992), a digestibilidade da celulose e da hemicelulose é altamente correlacionada à emissão de metano, já que grande parte do hidrogênio ruminal oriundo da fermentação dos carboidratos e muito do que é gerado durante a conversão de hexoses em acetato ou butirato, via piruvato, é convertido em metano (BENCHAAR et al., 2001). Assim, fatores que contribuem para altas taxas e quantidades de acetato e butirato, como alta quantidade de fibra e frações com baixa taxa de passagem (HEGARTY e GERDES, 1998), resultam em aumento na emissão de metano.

Quando foi incluído o consumo de lignina nas equações de predição de emissão de metano, somente a Equação 9 (Tabela 5) mostrou-se significativa, onde esta era a única variável do modelo. Neste sentido, Ellis et al. (2007) observaram que a lignina não foi significativamente correlacionada à emissão de metano, porém quando esta foi incluída nos modelos de predição, o efeito foi negativo. Isso pode ser explicado pelo fato da lignina apresentar efeito limitante na digestão de celulose e hemicelulose, limitando a fermentação dos alimentos pelos microrganismos ruminais (ELLIS et al., 2007).

O consumo de fibra em detergente ácido, porção que contém celulose, lignina e algumas vezes sílica, também apresentou correlação positiva com emissão de metano (Tabela 4), corroborando os dados encontrados por Ellis et al. (2007). A

equação desenvolvida a partir desta variável mostrou baixo valor de RQME (Tabela 5 – Equação 10). Em geral, dietas com maiores porcentagens de carboidratos fibrosos apresentam potencial de emissão de metano entérico maior, já que sua fermentação resulta em maiores perdas de energia bruta sob a forma de metano, quando comparada a fermentação de açúcares e amido (BOADI et al., 2004).

Tabela 5. Sumário das equações lineares desenvolvidas para estimativa de metano com as variáveis de consumo

Equações		RQME[1]
Equação 1	CH_4(MJ/d) = 4,41(±1,86) + 0,50(±0,227) x CMS(kg/d)	17,00
Equação 2	CH_4(MJ/d) = 5,26(±2,78) + 2,53(±0,792) x CMS(kg/d) – 59,7(±22,3) x CEE(kg/d)	29,73
Equação 3	CH_4(MJ/d) = 4,97(±1,71) – 1,31(±0,507) x CMS(kg/d) +7,69(±1,70) x CCEL(kg/d)	19,61
Equação 4	CH_4(MJ/d) = 4,08(±1,65) + 11,6(±2,34) x CMS(kg/d) – 33,4(±7,21) x CHEM(kg/d)	14,34
Equação 5	CH4(MJ/d) = 5,26(±1,69) – 6,30(±1,47) x CMS(kg/d) + 8,80(±1,81) x CCHOT(kg/d)	14,05
Equação 6	CH_4(MJ/d) = 4,55(±1,89) + 0,050(±0,024) x CEM(MJ/d)	17,11
Equação 7	CH_4(MJ/d) = 5,16(±1,72) – 0,130(±0,048) x CEM(MJ/d) + 7,37(±1,53) x CCEL(kg/d)	14,26
Equação 8	CH_4(MJ/d) = 4,06(±1,65) + 2,42(±0,926) x CCEL(kg/d)	15,73
Equação 9	CH_4(MJ/d) = 4,75(±1,92) + 8,26(±3,95) x CLIG(kg/d)	18,83
Equação 10	CH_4(MJ/d) = 4,32(±1,72) + 1,85(±0,760) x CFDA(kg/d)	16,26
Equação 11	CH_4(MJ/d) = 4,55(±1,83) + 0,838(±0,383) x CFDNcp(kg/d)	17,12
Equação 12	CH_4(MJ/d) = 4,35(±1,84) + 0,543(±0,241) x CMO(kg/d)	16,74
Equação 13	CH_4(MJ/d) = 4,50(±1,94) + 3,40(±1,66) x CPB(kg/d)	16,84
Equação 14	CH_4(MJ/d) = 4,27(±1,80) + 0,685(±0,292) x CCHOT(kg/d)	16,48
Equação 15	CH_4(MJ/d) = 3,14(±1,48) + 3,65(±1,05) x CCNF(kg/d)	14,73
Equação 16	CH_4(MJ/d) = 4,44(±1,87) + 0,813(±0,374) x CNDT(kg/d)	16,87
Equação 17	CH_4(MJ/d) = 4,57(±1,87) + 1,45(±0,683) x CHEM(kg/d)	17,21
Equação 18	CH_4(MJ/d) = 4,53(±1,88) + 0,042(±0,020) x CED(MJ/d)	17,28

CMS = consumo de matéria seca; CEE = consumo de extrato etéreo; CCEL =consumo de celulose; CHEM = consumo de hemicelulose; CCHOT = consumo de carboidratos totais; CCNF = consumo de carboidratos não fibrosos; CEM = consumo de energia metabolizável; CLIG = consumo de lignina; CFDA = consumo de fibra em detergente ácido; CFDNcp = consumo de fibra em detergente neutro isenta de cinzas e proteína; CMO = consumo de matéria orgânica; CPB = consumo de proteína bruta; CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais; CED = consumo de energia digestível.

[1]RQME é a raiz quadrada do erro médio de predição, expressa em proporção da media observada.

Consumo de proteína bruta foi positivamente correlacionado com a emissão de metano (Tabela 4). A inclusão desta variável nas equações de regressão (Tabela 5 - Equação 13) proporcionou efeito positivo na emissão de metano, mostrando que dietas com altos níveis de proteína bruta geram elevadas emissões de metano a partir da fermentação de aminoácidos em amônia, ácidos graxos voláteis, gás carbônico e metano (MILLS et al., 2003).

Consumo de extrato etéreo apresentou correlação negativa com emissão de metano (Tabela 4), como relatado por Ellis et al. (2007). Quando esta variável foi incluída nas equações de regressão (Tabela 5 - Equação 2), o efeito na emissão de metano foi negativo. Altos níveis de gordura na dieta tem mostrado efeito depressor na emissão de metano por basicamente três motivos: pela biohidrogenação dos ácidos graxos insaturados funcionarem como dreno de hidrogênio, diminuindo sua disponibilidade ao acesso dos microrganismos metanogênicos (DONG et al., 1997); através da diminuição da degradação da fibra pela formação de uma camada que a envolve e dificulta a adesão dos microrganismos; e pela diminuição da quantidade de matéria orgânica fermentável no rúmen (MATHISON, 1997).

De acordo com St-Pierre (2003), o intercepto da equação de regressão dos resíduos (valor observado menos valor predito) sobre os valores preditos indica o viés médio de predição (acurácia), e a inclinação da reta, representada pelo coeficiente b, indica o viés linear (erro sistemático). Intercepto e coeficiente assumem o valor zero se o modelo não apresenta viés. Com a centralização da variável independente (metano predito) em seu valor médio, os dois parâmetros estimados (intercepto e coeficiente de regressão) tornam-se ortogonais e, portanto, independentes. Assim, a aplicação da abordagem de St-Pierre, (2003) revelou que as equações desenvolvidas neste estudo não possuem viés médio (Tabela 6). Entretanto, as equações 2 e 9 apresentaram viés linear (-0,691 MJ/d CH_4, $P<0,0001$ e -1,348 MJ/d CH_4, $P=0,017$, respectivamente) e portanto subestimaram os valores preditos, já que com o aumento do valor predito por estas equações a diferença entre o metano observado e o predito diminui.

Tabela 6. Estatística para regressão do metano residual sobre o metano predito entre as equações desenvolvidas

Modelo	Viés médio[1]		Viés linear[2]	
	Est. (MJ/d)	*P*	Est. (MJ/d)	*P*
Equação 1	-0,006±0,205	0,975	0,028±0,501	0,955
Equação 2	0,005±0,167	0,974	-0,691±0,057	<0,0001
Equação 3	0,035±0,181	0,848	-0,161±0,192	0,404
Equação 4	-0,002±0,171	0,992	-0,091±0,178	0,613
Equação 5	-0,001±0,169	0,995	-0,090±0,172	0,603
Equação 6	0,002±0,206	0,992	0,036±0,550	0,949
Equação 7	-0,0001±0,171	0,999	-0,094±0,178	0,601
Equação 8	-0,009±0,189	0,960	0,162±0,323	0,618
Equação 9	-0,005±0,213	0,982	-1,348±0,543	0,017
Equação 10	0,005±0,195	0,981	0,304±0,424	0,477
Equação 11	0,002±0,206	0,992	-0,0004±0,531	0,993
Equação 12	0,004±0,201	0,983	0,186±0,487	0,704
Equação 13	0,013±0,202	0,950	0,273±0,546	0,619
Equação 14	0,005±0,198	0,980	0,259±0,450	0,568
Equação 15	0,039±0,177	0,825	-0,003±0,218	0,990
Equação 16	0,003±0,203	0,989	0,148±0,510	0,772
Equação 17	0,002±0,207	0,990	-0,049±0,547	0,929
Equação 18	-0,0001±0,208	0,999	-0,118±0,541	0,828

[1]Viés médio é a estimativa do intercepto da regressão de resíduos (observado – predito) sobre os valores preditos centralizados em suas respectivas médias.

[2]Viés linear é a estimativa da inclinação da reta de regressão de resíduos (observado – predito) sobre os valores preditos centralizados em suas respectivas médias.

3.3. Avaliação das equações descritas na literatura

Nosso próximo passo foi identificar se equações previamente descritas para a predição da emissão de metano poderiam acuradamente predizer a emissão de CH_4 de bovinos Nelore mantidos em confinamento nas condições tropicais brasileiras. Essa análise se fez importante por que as equações descritas foram desenvolvidas para bovinos de outras raças sob condições de clima temperado. Os dados obtidos estão apresentados na Tabela 7.

As equações descritas por Ellis et al. (2007) que apresentaram maior acurácia na predição de metano e portanto menor RQME foram Eq. 2b, 4b, 8b, 11b e 14b. A melhor equação (Eq. 14b) inclui as variáveis independentes consumo de energia metabolizável e consumo de fibra em detergente ácido, semelhante aos resultados encontrados por Ellis et al. (2009) com novo banco de dados.

O modelo 2b descrito em Ellis et al. (2007) e a Equação A descrito em Ellis et al. (2009), os quais consideram consumo de matéria seca como única variável, apresentaram valores de RQME próximos ao obtido pela equação desenvolvida neste estudo baseada no consumo de matéria seca (Tabela 5 - Equação 1). Entretanto, a Equação A subestimou a predição da emissão de metano em aproximadamente 0,861 MJ/d o que não ocorreu para a equação 2b (Tabela 7).

As equações de Axelsson (1949) e Linear 1 de Mills et. al (2003), também baseadas no consumo de matéria seca apresentaram altos valores de RQME, os quais corroboram com os resultados reportados por Ellis et al. (2007) de 37,8% e 55,5% para bovinos de corte; 40,4% e 33,5% para bovinos de leite e 40,9% e 40,7% para dados combinados, respectivamente. Apesar de não apresentarem erro sistemático, estas equações superestimaram a emissão de metano para este estudo em 3,55 e 4,65 MJ/d, respectivamente. De forma semelhante, Wilkerson et al. (1995) observaram que a equação de Axelsson (1949) superestimou os dados de emissão de metano para vacas lactantes e secas, com subestimação dos valores em baixas emissões de metano e alta superestimação quando esta encontrava-se acima de 2,5 MJ/d. Com relação às equações descritas por Mills et al. (2003), estas foram desenvolvidas para vacas de leite em dietas formuladas para a fase de lactação, apresentando consumo de matéria seca e emissão de metano superiores as reportadas neste estudo (12,5±2,8 kg/d e 16,8±2,8 MJ/d, respectivamente), o que poderia explicar a grande superestimação dos dados para esta equação.

O modelo descrito por Moe e Tyrrel (1979) baseado no consumo de carboidratos apresentou alto RQME e viés médio, superestimando a emissão de CH_4 dos animais deste estudo em 1,686 MJ/d.

A equação 1b de Ellis et al. (2007) apresentou menor RQME comparada a equação Linear 2 de Mills et al. (2003), ambas baseadas no consumo de energia metabolizável. Porém, as duas equações superestimaram a emissão de metano para os dados avaliados em 0,467 e 5,167 MJ/d, respectivamente. Algumas das informações utilizadas para estimar o consumo de energia metabolizável destes trabalhos foram retiradas de tabelas de alimentos nacionais (Estados Unidos, Canadá, Reino Unido) e apresentaram generalizações, além de relativa diferença nos componentes da dieta quando comparados aos utilizados neste trabalho.

Algumas variáveis utilizadas neste estudo e não avaliadas por Ellis et al. (2007) como consumo de celulose, consumo de hemicelulose, consumo de carboidratos totais e consumo de carboidratos não fibrosos, apresentaram melhores resultados para a predição de metano comparadas a variáveis como consumo de matéria seca, consumo de energia metabolizável e consumo de fibra em detergente ácido nas equações por nós desenvolvidas. As equações propostas por Ellis et al. (2007), entretanto, particularmente aquelas que incluem consumo de matéria seca, consumo de energia metabolizável e consumo de fibra em detergente ácido apresentaram resultados satisfatórios quando validadas com os dados deste estudo, indicando que variáveis comumente mensuradas podem predizer a emissão de metano tão bem quanto variáveis mais difíceis de ser mensuradas como consumo de celulose, consumo de hemicelulose, consumo de carboidratos totais e consumo de carboidratos não fibrosos.

Embora as equações propostas por Ellis et al (2007) mostrem-se ajustados aos dados deste estudo, as equações desenvolvidas neste estudo apresentaram maior acurácia na predição da emissão de metano sendo mais específicas para os sistemas de produção de zebuínos em clima tropical. Assim, a seleção da melhor equação a ser utilizada na predição da emissão de metano deve basear-se na disponibilidade das variáveis utilizadas, bem como no desenvolvimento e na possibilidade de uma variável especifica e importante da dieta que está sendo fornecida aos animais.

Tabela 7. Avaliação das equações existentes na literatura

Equações	Viés médio[1]		Viés linear[2]		RQME[3]	CP[4]
	Est (MJ/d)	*P*	Est (MJ/d)	*P*	(% Obs)	
Ellis et al. (2009) Eq. A	0,861	<0,0001	0,136	0,724	19,42	0,399**
Ellis et al. (2009) Eq. B	-1,163	<0,0001	-0,003	0,990	20,31	0,579***
Ellis et al, (2009) Eq. D	1,631	<0,0001	11,596	<0,0001	26,85	0,630***
Ellis et al. (2007) Eq. 1b	-0,467	0,023	0,250	0,600	17,54	0,366*
Ellis et al. (2007) Eq. 2b	0,0086	0,965	0,353	0,446	16,39	0,399**
Ellis et al. (2007) Eq. 4b	0,0361	0,866	-1,043	0,127	18,23	-0,009^{ns}
Ellis et al. (2007) Eq. 5b	-1,072	<0,0001	0,400	0,455	21,21	0,363*
Ellis et al. (2007) Eq. 6b	-0,471	0,015	1,114	0,047	17,11	0,496**
Ellis et al. (2007) Eq. 7b	-1,034	<0,0001	-0,149	0,645	20,86	0,365*
Ellis et al. (2007) Eq. 8b	-0,106	0,585	0,201	0,587	16,11	0,433**
Ellis et al. (2007) Eq. 11b	0,071	0,701	0,125	0,652	15,27	0,516**
Ellis et al. (2007) Eq. 12b	1,033	<0,0001	-0,019	0,910	18,36	0,662***
Ellis et al. (2007) Eq. 14b	-0,304	0,105	0,161	0,576	15,74	0,513**
Axelsson (1949)	-3,552	<0,0001	-0,336	0,160	46,59	0,383**
Mills et al. (2003) Linear 1	-4,650	<0,0001	-0,176	0,532	59,23	0,399**
Mills et al. (2003) Linear 2	-5,167	<0,0001	0,046	0,907	65,38	0,366*
Moe e Tyrrel (1979)	-1,686	<0,0001	-0,319	0,061	26,01	0,516***

[1]Viés médio é a estimativa do intercepto da regressão de resíduos (observado – predito) sobre os valores preditos centralizados em suas respectivas medias.
[2]Viés linear é a estimativa da inclinação da reta de regressão de resíduos (observado – predito) sobre os valores preditos centralizados em suas respectivas medias.
[3]RQME é a raiz quadrada do erro médio de predição, expressa em proporção da media observada.
[4]CP é o coeficiente de correlação de Pearson entre o CH_4 observado e o predito pelas equações existentes- ns = não significativo; * P<0,05; ** P<0,005; ***P<0,0001.

4. CONCLUSÃO

As equações de predição da emissão de metano geradas neste estudo puderam predizer adequadamente a emissão deste gás em animais avaliados sob condições de clima tropical, evidenciando que o consumo de carboidratos parece estar intimamente relacionado à emissão de metano, já que as melhores equações de predição encontradas foram desenvolvidas a partir destes.

As equações descritas em Ellis et al. (2007) e Ellis et al. (2009), de forma geral, puderam predizer de forma satisfatória a emissão de metano dos bovinos avaliados, porém as equações desenvolvidas neste estudo apresentaram melhoria na predição da emissão de metano sendo mais específicas para os sistemas de produção de zebuínos em clima tropical.

Para tanto, as equações desenvolvidas neste estudo podem ser utilizadas para predizer a emissão de metano de bovinos em condições semelhantes às avaliadas, seja para estimar as emissões de rebanhos bovinos ou em inventários nacionais para determinação da emissão de metano em sistemas de produção de bovinos de corte.

5. REFERÊNCIAS

Association of Official Analytical Chemists, 15th ed., Association of Official Analytical Methods Inc., Arlington, VA, USA, 1990.

AXELSSON, J. The amount of produced methane energy in the European metabolic experiments with adult cattle. **Ann. R. Agric. Coll. Sweden**, v. 16, p. 404–419, 1949.

BENCHAAR, C.; POMAR, C.; CHIQUETTE, J. Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: A modelling approach. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 81, p. 563-574, 2001.

BLAXTER, K. L.; CLAPPERTON, J. L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. **Br. J. Nutr**, v. 19, p. 511-522, 1965.

BOADI, D.; BENCHAAR, C.; CHIQUETTE, J.; MASSÉ, D. Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review. **Canadian Journal of Animal Science**, v84, p.319-335, 2004.

BOADI, D. A.; WITTENBERG, K. M. Methane production from dairy and beef heifers fed forages differing in nutrient density using the sulfur hexafluoride (SF6) tracer gas technique. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 82, p. 201-206, 2002.

CARO, D.; DAVIS, J. S.; BASTIANONI, S.; CALDEIRA, K. Global and regional trends in greenhouse gas emissions from livestock. Climatic Change. Disponivel em: http://dx.doi.org/10.1007/s10584-014-1197-x.

CORVINO, T. L. S.; BRANCO, R. H.; BONILHA, S. F. M.; CASTILHOS, A. M.; FIGUEIREDO, L. A.; RAZOOK, MA. G.; MERCADANTE, M. E. Z. Residual feed intake and relationships with performance of Nellore cattle selected for post weaning weight. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 4, p. 929-937, 2011.

DONG, Y.; BAE, H. D.; McALLISTER, T. A.; MATHISON, G. W.; CHENG, MK. L. Lipid-induced depression of methane production and digestibility in the artificial rumen systems (RUSITEC). **Canadian Journal of Animal Science**, v. 77, p. 269-278, 1997.

ELLIS, J. L.; KEBREAB, K.; ODONGO, N. E.; McBRIDE, B. W.; OKINE, E. K.; FRANCE, J. Prediction of methane production from dairy and beef cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 90, p. 3456–3466, 2007.

ELLIS, J. L.; KEBREAB, K.; ODONGO, N. E.; BEAUCHEMIN, K.; McGINN, S.; NKRUMAH, J. D.; MOORE, S. S.; CHRISTOPHERSON, R.; MURDOCH, G. K.; McBRIDE,. B. W.; OKINE, E. K.; FRANCE, J. Modeling methane production from

beef cattle using linear and nonlinear approaches. **Journal of Animal Science**, v. 87, p. 1334-1345, 2009.

ETHERIDGE, R.D.; PESTI, G.M.; FOSTER, E.H. A comparison of nitrogen values obtained utilizing the Kjeldahl nitrogen and Dumas combustion methodologies (Leco CNS 2000) on samples typical of an animal nutrition analytical laboratory. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.73, p.21-28, 1998.

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

FOLEY, P. A.; KENNY, D. A.; CALLAN, J. J.; BOLAND, T. M.; O´MARA, F. P. Effect of DL-malic acid supplementation on feed intake, methane emission, and rumen fermentation in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 87, p. 1048-1057, 2009.

GOERING, H. K.; VAN SOEST, P. J. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some aplications), ARS/USDA Handbook n. 379, superintendent of documents, US Government Printing Office, Washington, D.C. 20402, 1970.

HART, K. J.; MARTIN, P. G.; FOLEY, P. A.; KENNY, D. A.; BOLAND, T. M. Effect of sward dry matter digestibility on methane production, ruminal fermentation, and microbial populations of zero-grazed beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 87, p.3342-3350, 2009.

HEGARTY, R.; GERDES, R. Hydrogen production and transfer in t5he rumen. **Rec. Adv. Animal Nutrition**, v. 12, p-. 37-44, 1998.

HOLTER, J. B.; YOUNG, A. J. Nutrition, feeding and calves: methane prediction in dry and lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v 75, p. 2165-2175, 1992.

HULSHOF, R.; BERNDT, A., GERRITS, W. J. J.; DIIJKSTRA, J.; VAN ZIJDERVELD, S. M.; NEWBOLD, J. R.; PERDOK, H. B. Dietary nitrate supplementation reduces methane emission in beef cattle fed sugarcane based diets. **Journal of Animal Science**, v. 90, p. 2317–2323, 2012.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Chapter 3. Livestock's role in climate change and air pollution. vol. 4. Agriculture, forestry and other land use. p. 3.1-3.20, 2006.

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

KEBREAB, E.; CLARK, K.; WAGNER-RIDLLE, C.; FRANCE, J. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: A review. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 86, p. 135–158, 2006.

MATHISON, G. W. Effect of canola oil on methane production in steers. Canadian Journal of Animal Science, v. 77, p. 545-546 (Abstr.), 1997.

MILLS, J. A. N.; KEBREAB, E. C.; YATES, M.; CROMPTON, L. A.; CAMMELL, S. B.; DHANOA, M. S.; AGNEW, R. E.; FRANCE, J. Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cows. **Journal of Animal Science**, v. 81, p. 3141–3150, 2003.

MOE, P. W.; TYRRELL, H. F. Methane production in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 62, p. 1583–1586, 1979.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. Natl. Acad. Press, Washington, DC, 2001.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETO, R. T. S.; PEDREIRA, M. S.; LIMA, M. A.; BERCHIELLI, T. T.; DEMARCHI, J. J. A. A.; MANELLA, M. Q.; BARBOSA, P. F.; JOHNSON, K. A.; WESTBERG, H. H. **SF_6-tracer technique for bovine ruminal methane field measurements: adaptations to Brazilian conditions.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004. 74 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documento, 39).

RAZOOK, A.G.; FIGUEIREDO, L.A.; CYRILLO, J.N.S.G. et al. **Prova de ganho de peso: Normas adotadas pela estação experimental de Zootecnia de Sertãozinho**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1997. 33p. (Nova Odessa: Instituto de Zootecnia - Boletim Científico, 40).

SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J.; FOX, D.G.; RUSSELL, J.B. A net carbohydrate and protein system for evaluation cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science,** v. 70, n. 11, p. 3562-3577, 1992.

St-PIERRE, N.R. reassessment of biases in prediction nitrogen flows to the duodenum by NRC 2001. **Journal of Dairy Science**, v. 86, p.344-350, 2003.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B. **Analysis of forages and fibrous foods.** Cornell University, Ithaca, 1985. 202 p.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, p. 3583-3597, 1991.

WESTBERG, H.; JOHNSON, K. A.; COSSALMAN, M. W.; MICHAL, J. J. **A SF_6 tracer technique: methane measurement from ruminants.** Washington State University, Pullman, Washington, 1998. 40 p.

WILKERSON, V. A.; CASPER, D. P.; MERTENS, D. R. The prediction of methane production of Holstein cows by several equations. Journal of Dairy Science, v. 78, p. 2402-2414, 1995.

CAPITULO 3 - ESTIMATIVA DE HERDABILIDADE DA EMISSÃO DE METANO DE BOVINOS NELORE EM CRESCIMENTO

RESUMO: Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a herdabilidade da emissão de metano e estabelecer relações entre emissão de CH_4 e eficiência alimentar de bovinos Nelore em crescimento. Foram utilizados dados de consumo individual e peso corporal de 896 bovinos Nelore (541 machos e 355 fêmeas) com peso corporal inicial médio de 276 ± 53 kg, nascidos entre 2004 e 2012 (286 ± 39 dias de idade inicial) e avaliados quanto ao consumo alimentar residual (CAR). A emissão CH_4 foi estimada a partir de três equações: (1) CH_4 (MJ) = 4,41 + 0,50 x CMS; (2) CH_4 (MJ) = 2,29 + 0,647 x CMS; e (3) CH_4 (MJ) = 3,96 + 0,561 x CMS, desenvolvidas por Sobrinho e colaboradores (1) e por Ellis e colaboradores (2 e 3) e a herdabilidade foi estimada para cada equação. A estimativa de herdabilidade (h^2) do CH_4 apresentou alta magnitude para os modelos onde não foi utilizado efeito de peso corporal, com valores idênticos para as três equações (0,52 ± 0,072), e de média magnitude onde esta característica foi introduzida nos modelos (0,35 ± 0,074), indicando haver variação entre animais para emissão de CH_4 mesmo após ajuste para peso corporal. Porém, para estimativas de valor genético da emissão de metano, é aconselhável a medida direta da emissão de CH_4 nos animais testados em contrapartida da sua predição por equações relacionadas a consumo de alimentos, uma vez que o consumo é diretamente relacionado à emissão de metano e a estimativa da herdabilidade estará condicionada a esta característica. Ainda, animais baixo CAR apresentaram menor CMS e menor emissão de metano (g/d), comparados aos alto CAR, para mesmo ganho de peso e peso corporal. Entretanto, a emissão de CH_4 relativa ao CMS (g CH_4/kg CMS) foi maior para animais baixo CAR. Estudos futuros devem ser realizados para a obtenção de medidas diretas de emissão de metano em maior número de animais, e assim estimar parâmetros genéticos com acurácia para características relacionadas à emissão de metano em bovinos Nelore.

Palavras-chave: bovinos de corte, equações de predição, gases de efeito estufa, herdabilidade

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos observou-se o acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera, fator contribuinte para mudanças climáticas globais. De acordo com a FAOSTAT (2013), no ano de 2010 foram estimadas emissões de 1,0 a 1,5 Gt CO_2 eq./ano oriundas de países em desenvolvimento. Segundo Cerri et al. (2009), cerca de 12% dos gases de efeito estufa emitidos no Brasil são de origem antropogênica originários da fermentação entérica de ruminantes, principalmente bovinos de corte.

Ruminantes em geral apresentam aproximadamente 6% de perda da energia consumida sob a forma de metano (JOHNSON e JOHNSON, 1995) sendo este um importante gás de efeito estufa. Para tanto, estratégias que visem sua mitigação apresentam benefícios à eficiência do sistema produtivo e à redução do aquecimento global. O melhoramento genético aplicado a características herdáveis oferece vantagens para a produção animal uma vez que a seleção pode ser mantida por muitas gerações promovendo grandes avanços com mudanças permanentes (ROBINSON et al., 2014). Poucas investigações científicas relatam a respeito da herdabilidade (h^2) da emissão de CH_4, com estimativas de 29% para h^2 na avaliação de 1225 ovinos em câmara respiratória (PINARES-PATIÑO et al., 2013) e 12% para h^2 da emissão de CH_4 predita por equação para vacas em lactação (CASSANDRO et al., 2010).

Embora seja possível reduzir a emissão de metano (CH_4) sem prejuízos à produção de ruminantes, algumas estratégias são inconsistentes, podendo comprometer o desempenho dos animais (FITZSIMONS et al., 2013). A melhora na eficiência individual de utilização dos alimentos (WAGHORN e HEGARTY, 2011) aliada à seleção genética de animais que emitem menos CH_4 pode ser uma opção na tentativa de diminuir as emissões deste gás (PINARES – PATIÑO et al., 2013).

Sendo assim, este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a herdabilidade da emissão de metano e estabelecer relações entre emissão de CH_4 e eficiência alimentar de bovinos Nelore em crescimento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização do experimento

O experimento foi conduzido no Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica dos Agronegócios de Bovinos de Corte, Sertãozinho, órgão do Instituto de Zootecnia do Estado de São Paulo. O centro de pesquisa localiza-se na região norte do estado de São Paulo a 21º10´ de latitude sul e 48º5´ de longitude oeste, região de clima tropical úmido, com temperatura média anual de 24ºC e precipitação média anual de 1.312 mm.

2.2. Animais

Foram utilizados dados de 896 bovinos Nelore (machos e fêmeas) nascidos entre 2004 e 2012 e avaliados de 2005 a 2013 (Tabela 1), inseridos em base de dados com pedigree de 2217 animais. Os animais são oriundos de três linhas de seleção genética (Nelore Controle, Nelore Seleção e Nelore Tradicional) iniciada em 1978 no referido centro de pesquisa, em que machos são selecionados anualmente para peso ajustado aos 378 dias de idade em provas de ganho de peso (RAZOOK et al., 1997) e fêmeas são avaliadas a pasto e selecionadas para peso ajustado aos 550 dias de idade.

Na linha Nelore Controle (NeC), os animais são selecionados para a média de peso do grupo contemporâneo, com diferencial de seleção aproximadamente zero. Nas linhas Nelore Seleção (NeS) e Nelore Tradicional (NeT) os animais são selecionados para altos pesos, ou seja, para os maiores diferenciais de seleção (MERCADANTE e RAZOOK, 2010). NeS e NeT diferem no fato do primeiro, assim como na linha Controle, o rebanho manteve-se fechado à introdução de material genético de fora, enquanto animais de outros rebanhos foram utilizados na linha NeT inicialmente. Contudo, os animais foram submetidos aos mesmos tratamentos durante todo o teste de eficiência.

Tabela 1. Grupo de animais utilizados no experimento

Ano	Sexo[1]	n	Rebanho[2]	Duração do teste, dias	Idade inicial,[3] dias	PC inicial,[3] kg
2005	F	32	NeC e NeS	56	263 ± 18	164 ± 28
2005	F	32	NeC e NeS	56	341 ± 18	233 ± 34
2006	F	32	NeC e NeS	70	267 ± 24	155 ± 30
2006	F	32	NeC e NeS	70	350 ± 21	242 ± 48
2007	M	61	NeC e NeS	112	268 ± 14	205 ± 31
2008	M	62	NeC e NeS	112	249 ± 25	194 ± 36
2009	M	60	NeT	70	300 ± 21	295 ± 32
2009	F	32	NeT	85	272 ± 25	203 ± 28
2009	F	32	NeT	84	391 ± 22	292 ± 26
2010	M	60	NeT	73	262 ± 22	248 ± 40
2010	F	32	NeT	84	294 ± 19	212 ± 28
2010	F	24	NeT	84	281 ± 22	208 ± 25
2011	M	62	NeT	72	261 ± 23	243 ± 40
2011	F	31	NeT	84	294 ± 23	220 ± 33
2011	F	25	NeT	84	286 ± 30	212 ± 28
2012	M	23	NeT	91	277 ± 19	250 ± 31
2012	M	85	NeC, NeS e NeT	91	270 ± 23	239 ± 41
2012	F	21	NeT	86	225 ± 24	257 ± 29
2012	F	30	NeT	86	223 ± 25	256 ± 28
2013	M	128	NeT	86	283 ± 25	311 ± 48
Geral	–	896	–	83 ± 16	286 ± 39	276 ± 53

[1]F = fêmeas; M = machos;
[2]NeC = rebanho controle; NeS = rebanho seleção; NeT = rebanho tradicional;
[3]Média ± DP;
PC = peso corporal.

2.3. Manejo e coleta de dados

O teste de eficiência foi utilizado para avaliar o consumo individual de matéria seca no período pós desmame. Para tanto, os animais foram submetidos a 28 dias de adaptação a dieta, manejo e instalações.

Em 2005, 2006 e 2009 as fêmeas foram subdivididas em dois grupos avaliados sequencialmente, devido à indisponibilidade de baias individuais. Após o período de adaptação, 32 fêmeas escolhidas ao acaso foram alocadas em baias individuais para mensuração do consumo individual, enquanto outras 32 permaneceram em baias coletivas até o final do teste do primeiro grupo. Em seguida, o segundo grupo foi testado. Isto explica a diferença média de três meses de idade e aproximadamente 82 kg de diferença entre os dois grupos no peso ao início do teste. A partir de 2010 os dois grupos de fêmeas foram testados simultaneamente em diferentes instalações contendo baias individuais.

Nos machos, foi avaliado somente um grupo de animais por ano quanto ao consumo individual entre 2007 e 2011. Em 2012, 31 animais foram avaliados nas mesmas instalações que os anos anteriores e 87 foram avaliados em baias coletivas com a utilização do sistema de alimentação GrowSafe (GrowSafe Systems Ltd., Airdrie, Alberta, Canada). No ano de 2013 os animais foram avaliados somente pelo sistema GrowSafe.

O peso corporal foi avaliado em intervalos de 14 dias com jejum de 12 horas em 2005 e 2006, a intervalos de 28 dias com jejum em 2007 e 2008 para machos e de 2009 a 2011 para fêmeas. Depois de 2009, os machos foram pesados semanalmente sem jejum, incluindo três pesagens semanais em dias consecutivos em 2011, uma vez por semana em 2012 e uma vez a cada 14 dias em 2013. As fêmeas testadas em 2012 foram pesadas em dois dias consecutivos a intervalos de 14 dias.

As dietas oferecidas durante os anos de teste diferiram em termos de composição e fonte de alimentos, porém foram formuladas para serem isoproteicas e isoenergéticas (62% de NDT e 13% PB) para animais em crescimento. Nos testes realizados em baias individuais, a dieta foi fornecida duas vezes ao dia (8 e 16 horas) e ajustada individualmente para permitir sobras de 5 a 10%, garantindo consumo *ad libitum*. As amostras de sobras de alimento individuais foram coletadas duas vezes por semana, compondo uma amostra a cada 28 dias, e ingredientes da dieta foram coletados a cada 28 dias. Já nos testes em baias coletivas, o ajuste da dieta fornecida foi realizada semanalmente e as sobras amostradas duas vezes por semana por cocho. Todas as amostras foram congeladas e armazenadas para determinação da matéria seca.

As amostras dos ingredientes da dieta e sobras foram secas a 55℃ por 72 horas e moídas em moinho de facas com peneira de 1 mm, e a matéria seca foi determinada segundo AOAC (1990 – Oficial Método 934,01). O consumo individual foi calculado pela diferença entre o oferecido e as sobras. No sistema GrowSafe os dados foram excluídos quando não houve sobras no cocho e quando indicou irregularidades nas baias, resultando no mínimo de 49 dias de consumo individual.

O ganho médio diário (GMD) de cada animal foi obtido pelo coeficiente da regressão linear dos pesos nos dias em teste (DT):

$$PC_i = PC_{inicial} + GMD*DT_i + erro$$

em que PC_i é o peso corporal da igésima observação, $PC_{inicial}$ corresponde ao peso corporal inicial, GMD corresponde ao ganho médio diário, DT_i são o número de dias em teste da igésima observação e erro é o erro aleatório associado a cada observação. Peso corporal médio metabólico ($PC^{0,75}$) foi calculado como:

$$PC^{0,75} = [PC_{inicial} + GMD \times (\text{duração do teste})/2]^{0,75}$$

2.4. Consumo alimentar residual e medidas de eficiência

Consumo alimentar residual (CAR) foi calculado como o consumo de matéria seca observado menos o consumo de matéria seca estimado baseado no ganho médio diário e peso corporal médio metabólico (KOCH et al., 1963) para cada grupo de teste, em que os animais foram classificados em alto (> média +0,5 desvio padrão), médio (± 0,5 desvio padrão da média) e baixo CAR (< média alto – 0,5 desvio padrão). Animais classificados como baixo CAR são considerados mais eficientes por apresentarem consumo de matéria seca (CMS) observado menor que o predito, animais médio CAR são aqueles em que o CMS observado foi próximo à média, e animais alto CAR são ditos como os animais menos eficientes, uma vez que o CMS observado é maior que o predito. A conversão alimentar foi calculada como a razão entre CMS e GMD.

2.5. Predição da emissão metano entérico

A emissão de metano (CH_4) entérico diária, estimada em MJ/d e convertida a g/d, foi predita por três equações distintas:

CH_4 (MJ/d) = 4,41 + 0,50 x CMS (kg/d) (1)

CH_4 (MJ/d) = 2,29 + 0,647 x CMS (kg/d) (2)

CH_4 (MJ/d) = 3,96+ 0,561 x CMS (kg/d) (3)

em que CH_4 = emissão de metano, CMS = consumo de material seca.

A equação (1) foi desenvolvida com base no CMS e emissão de CH_4 observada de 48 animais (24 machos e 24 fêmeas) avaliados em 2011, e está descrita no Capítulo 2 desta tese (Equação 1). As equações (2) e (3) foram desenvolvidas por Ellis et al., (2009 - Equação A) e Ellis et al., (2007 - Equação 2b), respectivamente, para bovinos de corte. O critério de seleção das equações utilizadas para a predição do CH_4 foi a utilização do CMS como variável do modelo, já que o consumo, além do peso corporal, foram as únicas variáveis mensuradas em todos os anos de experimento avaliados.

2.6. Análise estatística

As médias das variáveis analisadas foram obtidas através do PROC MEANS do SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Foi realizado teste de Tukey para verificar a diferença na predição da emissão de CH_4 pelas três equações utilizadas, e a significância foi declarada quando $P<0,05$.

Para a avaliação da variação da emissão de CH_4 entre as classes de CAR foi utilizado o PROC MIXED do SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC), com os efeitos classificatórios da classe de CAR como fixo, e do grupo de teste como aleatório, além da idade do animal no meio do teste como covariável. Coeficientes de correlação de Pearson foram determinados através do PROC CORR do SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) para avaliar as relações entre as variáveis analisadas e o CAR.

Foram estimados os componentes de variância ajustando um modelo animal unicaracterística, pelo método da máxima verossimilhança restrita, utilizando o ASREML. O modelo incluiu os efeitos fixos de grupo de teste (ano-sexo-instalação, n = 1, ..., 20), efeitos lineares da idade e efeitos lineares e quadráticos do peso corporal no meio do teste de eficiência, além dos efeitos aleatórios genético aditivo e residual.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Desempenho e emissão de metano entérico

A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva de variáveis relativas ao CMS e ao desempenho de bovinos Nelore.

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis relativas ao consumo de matéria seca, desempenho e medidas de eficiência

Variável	Média	DP	Mínimo	Máximo
Idade Inicial, d	286	38,9	201	428
Idade Final, d	369	37,9	267	511
PC, kg	276	53,4	125	415
$PC^{0,75}$, kg	67,4	9,91	37,4	91,9
CMS, kg/d	6,69	1,24	2,15	12,6
GMD, kg/d	0,996	0,258	0,176	1,72
CAR, kg/d	0,001	0,583	-2,28	4,96
CA	7,04	1,77	3,65	19,1

CMS = consumo de matéria seca; PC = peso corporal médio; $PC^{0,75}$ = peso corporal médio metabólico; GMD = ganho de peso médio diário; CAR = consumo alimentar residual; EA = eficiência alimentar; CA = conversão alimentar.

O CMS médio foi de 6,69 kg/d, variando de 2,15 a 12,6 kg/d. O peso corporal médio dos animais foi de 276 kg com valores mínimo e máximo de 125 e 415 kg, respectivamente. A seleção genética para alto ganho de peso realizada nos animais durante os 40 anos do Programa de Seleção do IZ Sertaõzinho proporcionou diferença de aproximadamente 60 kg entre os animais do rebanho NeC em relação aos rebanhos NeS e NeT, sem prejuízos à eficiência de utilização dos alimentos (SOBRINHO et al., 2013).

Variações nos valores encontrados para consumo e conversão alimentar são relativamente comuns na literatura, já que fatores como potencial genético, idade, manejo e dieta podem influenciar os resultados. Valores próximos foram observados por Rubiano et al. (2009) na conversão alimentar (6,90) de bovinos Nelore. Por serem resultante da razão entre CMS e GMD, a conversão alimentar

está diretamente relacionada a medidas de tamanho corporal e taxa de crescimento (BASARAB et al., 2003), o que é indesejável, visto que a seleção de animais mais eficientes com base neste parâmetro pode resultar na escolha de animais que serão mais pesados a cada geração (CARSTENS e KERLEY, 2004) e com maiores exigências de mantença. Neste contexto, o consumo alimentar residual tem sido considerado uma das alternativas a serem avaliadas (OKINE et al., 2003).

Consumo alimentar residual variou de - 2,28 a + 4,96 kg/d entre os animais que consumiram nos extremos do esperado para mesmo peso corporal e ganho de peso. Lancaster et al. (2009) observaram valores mínimo e máximo para CAR de – 2,46 kg/dia e + 2,58 kg/dia em animais Angus em crescimento avaliados por dois anos consecutivos durante o verão e o inverno. Por outro lado, Sobrinho et al. (2011) mostraram variação inferior entre os valores mínimo e máximo para CAR (- 0,670 e + 0,950 kg/d, respectivamente) para bovinos Nelore em crescimento devido ao menor número de animais avaliados (121 animais) e a homogeneidade do rebanho avaliado. Como o CAR é independente do peso e da taxa de crescimento dos animais (ARTHUR et al., 2001) e apresenta estimativa de herdabilidade de média magnitude (h^2 = 0,33; GRION et al., 2014), a variabilidade genética pode ser explorada na identificação e seleção de animais geneticamente superiores em relação ao uso dos alimentos para produção de carne (ARCHER et al., 1999).

As emissões de CH_4 entérico estimadas a partir das três equações utilizadas estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Estimativa da emissão de metano entérico (CH_4) a partir de equações da literatura

Emissão	Equação 1	Equação 2	Equação 3
CH_4, g/d	140,7±11,3a	122,9±15,1b	139,9±12,6a
CH_4, g/kg CMS	21,5±2,64ª	18,6±1,37b	21,3±2,37a
CH_4, g/kg GMD	150,9±44,5a	130,7±35,2b	149,8±43,2a
CH_4, g/kg $PC^{0,75}$	2,11±0,219a	1,84±0,166b	2,10±0,207a

Equação 1 = CH_4 (MJ/d) = 4,41 + 0,50 x CMS (kg/d);
Equação 2 = CH_4 (MJ/d) = 2,29 + 0,647 x CMS (kg/d);

Equação 3 = CH_4 (MJ/d) = 3,96+ 0,561 x CMS (kg/d);
Médias seguidas de mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

As equações 1 e 3 não diferiram significativamente na predição da emissão de CH_4 entérico, e ambas diferiram da equação 2. No desenvolvimento da equação 1 foram utilizados 48 dos 118 animais avaliados no ano de 2011 deste estudo e acredita-se ser este o modelo mais robusto na estimativa da emissão de CH_4 entérico para os dados avaliados. A equação 3, descrita por Ellis et al. (2007) mostrou-se igualmente acurada na predição da emissão de CH_4 entérico. As equações 1 e 3 apresentam menores valores de erro médio de predição (16,5% e 16,4%, respectivamente) comparadas a equação 2 (19,4%), podendo explicar a melhor eficiência na estimativa da emissão de CH_4. As três equações utilizadas para a predição da emissão de CH_4 dos animais deste estudo são baseadas no CMS, já que esta é uma das variáveis mais comumente utilizadas para predizer a emissão de CH_4 entérico segundo alguns estudos (AXELSSON, 1949; JOHNSON e JOHNSON, 1995; MILLS et al., 2003; ELLIS et al., 2007).

3.2. Estimativa da Herdabilidade da emissão de metano

A partir da emissão de CH_4 entérico dos animais obtida pelas equações de predição, foram estimadas a herdabilidade desta característica para os quatro modelos testados, e os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Estimativa da herdabilidade da emissão de metano (g/d) avaliada pelos modelos testados.

	h^2		
Modelos	Equação 1	Equação 2	Equação 3
(1) CH_4 = GT + idade inicial	0,52±0,07	0,52±0,07	0,52±0,07
(2) CH_4 = GT + idade inicial + PC + PC^2	0,35±0,07	0,35±0,07	0,35±0,07
(3) CH_4 = GT + PC + PC^2	0,34±0,07	0,34±0,07	0,34±0,07
(4) CH_4 = GT + mês nasc. + PC + PC^2	0,35±0,07	0,35±0,07	0,35±0,07

GT = grupo de teste; PC = peso corporal médio, PC^2 = peso corporal médio*peso corporal médio.

A estimativa de herdabilidade (h^2) do CH_4 foi de alta magnitude para o modelo onde não foi utilizado efeito de peso corporal médio, com valores idênticos para as três equações (0,52 ±0,072), e de média magnitude onde peso corporal foi introduzido nos modelos (0,35 ± 0,074). Mesmo para o modelo que apresentou menor estimativa de h^2, os resultados encontrados na literatura apresentam estimativas inferiores, tanto para mensurações de emissão de CH_4 em câmaras de respiração avaliando ovinos (PINARES-PATIÑO et al., 2013), como para CH_4 predito a partir de equações baseadas em produção e composição do leite de bovinos leiteiros.

Resultados do presente estudo, o primeiro desenvolvido com bovinos Nelore, indicam que há variação entre animais para emissão de CH_4 mesmo após ajuste para peso corporal, sugerindo que a seleção para bovinos com baixa emissão de metano pode ser viável. Porem é aconselhável a medida direta da emissão de CH_4 nos animais testados em contrapartida da sua predição por equações relacionadas a consumo de alimentos, uma vez que o consumo é diretamente relacionado à emissão de metano e a estimativa da herdabilidade estará condicionada a esta característica. Para tanto, estudos futuros devem ser realizados a fim de obter medidas diretas de emissão de metano entérico em maior número de animais, e assim obter estimativas acuradas de parâmetros genéticos para características relacionadas à emissão de metano em bovinos Nelore.

3.3. *Emissão de metano entérico e consumo alimentar residual*

Não foram observadas diferenças entre as classes de CAR com relação ao GMD dos animais (Tabela 5), exceto para CMS em que os animais alto CAR apresentaram maiores CMS em relação aos animais classificados como médio CAR, que por sua vez consumiram mais alimento que os animais baixo CAR. De fato, apenas o CMS apresentou correlação com CAR de 0,47 ($P<0,0001$), diferentemente de ganho médio diário ($r = 0,003$; $P = 0,92$) e do $PC^{0,75}$ ($r = 0,002$; $P=0,94$). Estes resultados estão de acordo com a literatura em que o CAR não foi relacionado fenotipicamente (KELLY at al., 2011; FITZSIMONS et al., 2013) ou geneticamente (CROWLEY et al., 2010) com o peso corporal ou ganho de peso.

Conversão alimentar diferiu entre as classes de CAR (Tabela 5). Animais alto CAR apresentam melhores valores de conversão, corroborando a correlação encontrada entre CAR e conversão alimentar de 0,30 (P<0,0001).

Tabela 5. Consumo de matéria seca (CMS), desempenho e emissão de CH_4 entérico de bovinos Nelore predito a partir da Equação 1

	CAR			
Características	ALTO	MÉDIO	BAIXO	P
n	266	339	291	---
$PC^{0,75}$, kg	65,2±1,55	64,9±1,54	65,6±1,55	0,32
CMS, kg/d	7,11±0,15a	6,47±0,14b	6,01±0,15c	<0,0001
GMD, kg/d	0,947±0,05	0,936±0,05	0,948±0,05	0,59
CAR, kg/d	0,591±0,023a	0,004±0,020b	-0,540±0,022c	<0,0001
CA	7,79±0,29a	7,23±0,29b	6,69±0,29c	<0,0001
CH_4, g/d	144,5±1,33a	138,7±1,31b	134,5±1,32c	<0,0001
CH_4, g/kg CMS	20,73±0,31c	21,82±0,30b	22,73±0,30a	<0,0001
CH_4, g/kg GMD	161,2±6,98a	158,0±6,91ab	151,7±6,96b	0,004
CH_4, g/kg $PC^{0,75}$	2,24±0,04a	2,17±0,04b	2,08±0,04c	<0,0001

CMS = consumo de matéria seca; GMD = ganho médio diário de peso corporal; $PC^{0,75}$ = peso corporal metabólico médio; CAR = consumo alimentar residual; CA, conversão alimentar; EA = eficiência alimentar. Médias seguidas de mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A emissão de CH_4 entérico (g/d) foi 7% e 4% maior para animais alto CAR em relação aos animais baixo e médio CAR, respectivamente, com correlação de 0,47 (P<0,0001). Em teoria, é esperado que animais baixo CAR apresentem menor emissão de metano em relação aqueles em que o consumo observado excede o predito para mesmo desempenho (alto CAR), uma vez que o CMS é positivamente correlacionado à emissão de CH_4 entérico (BLAXTER e CLAPPERTON, 1965; JOHNSON e JOHNSON, 1995; ELLIS et al, 2007). Similarmente, Hegarty et al. (2007), em estudo com bovinos da raça Angus alimentados com dieta de alto concentrado, e Fitzsimons et al. (2013) em novilhas Simental alimentadas com dieta a base de silagem de capim, encontraram

menores emissões de CH_4 e CMS para animais baixo CAR. Já Nkrumah et al. (2006) não observaram variação no CMS de bovinos cruzados alimentados com dieta de mantença classificados quanto ao CAR, porém, a emissão de CH_4 entérico (g/d) foi maior nos animais alto CAR.

A análise de regressão do presente estudo (dados não mostrados) indica que o aumento de 1 kg de CMS no CAR está associado a um aumento de 41 g/d na emissão de CH_4 ($P<0,0001$), valor acima dos reportados por Fitzsimons et al. (2013) de 23 g/d e de Hegarty et al. (2007) de 13 g/d, diferença relativa ao tipo de dieta utilizada nos diferentes experimentos.

Quando a emissão de CH_4 foi expressa em relação ao CMS (g CH_4/kg CMS), animais classificados como baixo CAR apresentaram maior taxa de emissão (Tabela 5). A redução no CMS (1,1 kg/d) e a diferença na emissão de CH_4 (10 g/d) entre animais mais e menos eficientes gerou uma relação inversa na emissão do gás em relação ao CMS. Segundo Hegarty et al. (2007), Waghorn e Hegarty et al. (2011) e Fitzsimons et al. (2013), não há efeito do CAR na emissão de CH_4, (g CH_4/kg CMS) o que indica que o CAR, por si só, não afeta significativamente a emissão deste e a redução na emissão (em g/d) associada a animais baixo CAR é meramente em função da redução no consumo de alimento. Entretanto, nós verificamos redução de 7% na emissão de CH_4 em relação ao $PC^{0,75}$ (g CH_4/kg $PC^{0,75}$) de animais baixo CAR comparados aos alto CAR e correlação de - 0,36 ($P<0,0001$). Nkrumah et al. (2006) também observaram diminuição na emissão de CH_4 em relação ao mesmo parâmetro (28% menor para animais baixo CAR), sem diferenças no CMS dos animais durante o período de avaliação de CH_4, indicando que a seleção para emissão de metano, independente do consumo, está associada ao CAR.

Com relação à emissão de metano por GMD (g CH_4/kg GMD), animais baixo CAR não diferiram daqueles classificados como médio CAR, porém apresentaram menor emissão comparados aos animais alto CAR (Tabela 5). Como CAR não está relacionado ao peso corporal, a seleção de animais mais eficientes provavelmente apresenta redução da emissão de CH_4 entérico de bovinos, sem alterar negativamente parâmetros de desempenho.

4. CONCLUSÃO

A emissão de metano predita através de equações baseadas no consumo de alimentos apresenta estimativa de herdabilidade de alta magnitude em bovinos Nelore na fase de crescimento, sugerindo que a seleção para bovinos com baixa emissão de metano pode ser utilizada para redução na emissão deste gás nos sistemas de produção de bovinos de corte, embora seja recomendável a medição direta da emissão de metano.

5. REFERÊNCIAS

ARCHER, J.A.; RICHADSON, E.C.; HERD, R.M.; ARTHUR, P.F. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.50, p. 147-161, 1999.

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

Association of Official Analytical Chemists, 15th ed., Association of Official Analytical Methods Inc., Arlington, VA, USA, 1990.

AXELSSON, J. The amount of produced methane energy in the European metabolic experiments with adult cattle. **Ann. R. Agric. Coll. Sweden**, v. 16, p. 404–419, 1949.

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

BLAXTER, K. L.; CLAPPERTON, J. L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. **Br. J. Nutr**, v. 19, p. 511-522, 1965.

CARSTENS, G.E.; KERLEY, M.S. Biological basis for variation in energetic efficiency of beef cattle. In: Annual Research Symposium of the Beef Improvement Federation, 41., 2004, California**. Proceedings…** California: Symposium of the Beef Improvement Federation, 2004.

CASSANDRO, M.; CECCHINATO, A.; BATTAGIN, M.; PENASA, M. Genetic parameters of predicted methane production in holstein friesian cows. In: 9th World Congress on Genetic Applied to Livestock Production, Leipzig. **Proceedings…** Leipzig: World Congress on Genetic Applied to Livestock Production, 2010.

CERRI, C. C.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: The importance of agriculture and livestock. **Science Agricultural** (Piracicaba, Brasil), v. 66, p. 831-843, 2009.

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

ELLIS, J. L.; KEBREAB, K.; ODONGO, N. E.; McBRIDE, B. W.; OKINE, E. K.; FRANCE, J. Prediction of methane production from dairy and beef cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 90, p. 3456–3466, 2007.

ELLIS, J. L.; KEBREAB, K.; ODONGO, N. E.; BEAUCHEMIN, K.; McGINN, S.; NKRUMAH, J. D.; MOORE, S. S.; CHRISTOPHERSON, R.; MURDOCH, G. K.; McBRIDE,. B. W.; OKINE, E. K.; FRANCE, J. Modeling methane production from beef cattle using linear and nonlinear approaches. **Journal of Animal Science**, v. 87, p. 1334-1345, 2009.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: < http://faostat.fao.org/. Acesso em 30 de junho de 2014.

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

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

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

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

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

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

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

MERCADANTE, M. E. Z.; RAZOOK, A. G. Programa de melhoramento genético do Instituto de Zootecnia. In: A. V. Pires, editor, Bovinocultura de Corte. Vol. 2, 1st ed. (In Portuguese.) Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brazil. p. 847–860, 2010.

MILLS, J. A. N.; KEBREAB, E. C.; YATES, M.; CROMPTON, L. A.; CAMMELL, S. B.; DHANOA, M. S.; AGNEW, R. E.; FRANCE, J. Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cows. **Journal of Animal Science**, v. 81, p. 3141–3150, 2003.

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

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

PINARES-PATIÑO, C. S.; HICKEY, S. M.; YOUNG, E. A.; DODDS, K. G.; MACLEAN, S.; MOLANO, G.; SANDOVAL, E.; KJESTRUP, H.; HARLAND, R.; HUNT, C.; PICKERING, N. K.; McEWAN, J. C. Heritability estimates of methane emissions from sheep. **Animal**, v.7, s.2, p. 316-321, 2013.

RAZOOK, A.G.; FIGUEIREDO, L.A.; CYRILLO, J.N.S.G. et al. **Prova de ganho de peso: Normas adotadas pela estação experimental de Zootecnia de Sertãozinho**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1997. 33p. (Nova Odessa: Instituto de Zootecnia - Boletim Científico, 40).

RUBIANO, G. A. G.; ARRIGONI, M. B.; MARTINS, C. L.; RODRIGUES, E.; GONÇALVES, H. C.; ANGERANI, C. N. Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos superprecoce das raças Canchim, Nelore e seus mestiços. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 12, p. 2490-2498, 2009.

SOBRINHO, T. L.; BONILHA, S. F. M.; GONÇALVES, H. C.; CASTILHOS, A. M.; MAGNANI, E.; RAZOOK, A. G.; BRANCO, R. H. Feedlot performance, feed efficiency and carcass traits in Nellore cattle selected for postweaning weight. **Revista Brasileira de Zootecnia,** v. 42, n. 2, p.125-129, 2013.

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