UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

LEANDRO SANNOMIYA SAKAMOTO

**Intensidades de emissão de gás metano de bovinos Nelore
terminados a pasto e cruzados em confinamento**

Pirassununga

2018

LEANDRO SANNOMIYA SAKAMOTO

**Intensidades de emissão de gás metano de bovinos Nelore
terminados a pasto e cruzados em confinamento**

Versão Corrigida

Tese apresentada à Faculdade de
Zootecnia e Engenharia de Alimentos
da Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para a obtenção
do Título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Qualidade e
Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto
Leme

Coorientador: Dr. Alexandre Berndt

Pirassununga

2018

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

SS158i Sannomiya Sakamoto, Leandro
Intensidades de emissão de gás metano de bovinos
Nelore terminados a pasto e cruzados em
confinamento / Leandro Sannomiya Sakamoto ;
orientador Paulo Roberto Leme ; coorientador
Alexandre Berndt. -- Pirassununga, 2018.
125 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia
de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Fermentação entérica. 2. GreenFeed. 3.
Heterozigose. 4. Hexafluoreto de enxofre. 5.
Intensificação a pasto. I. Roberto Leme, Paulo,
orient. II. Berndt, Alexandre, coorient. III.
Título.

LEANDRO SANNOMIYA SAKAMOTO

**Intensidades de emissão de gás metano de bovinos Nelore
terminados a pasto e cruzados em confinamento**

Tese apresentada à Faculdade de
Zootecnia e Engenharia de Alimentos
da Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para a obtenção
do Título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Qualidade e
Produtividade Animal

Data de aprovação: 07 de agosto de 2018

Banca examinadora:

Prof. Dr. Paulo Roberto Leme

Instituição FZEA-USP
Presidente da Banca Examinadora

Prof. Dra. Maria Eugênia Zerlotti Mercadante

Instituição Instituto de Zootecnia - Sertãozinho

Prof. Dra. Patrícia Perondi Anchão Oliveira

Instituição Embrapa Pecuária Sudeste / FZEA-USP

Prof. Dr. André de Faria Pedroso

Instituição Embrapa Pecuária Sudeste

Prof. Dr. Gustavo Rezende Siqueira

Instituição APTA – Colina

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais, Orlando e Isabel, que me proporcionaram esta conquista através da educação, do exemplo, dos valores, dos incentivos, do apoio, do amor e de todo carinho sempre. Dedico a minha esposa, Lívia, pelos incentivos, sinceridade, carinho, companheirismo, paciência, amor e apoio. Dedico aos meus irmãos, Eduardo e Felipe, meus melhores e grandes amigos pelos incentivos, sinceridade e apoio. Dedico a minha vó Anna por sempre me incentivar com um belo sorriso. Dedico ao meu mestre, Dr. Daisaku Ikeda, por todas as orientações e incentivos em ser uma pessoa melhor através da minha mudança interior e do respeito ao próximo, o que importa é o coração.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Isabel e Orlando, por fazerem disso tudo uma realidade sempre me incentivando, ajudando, apoiando com muito carinho, amor e dedicação;

À minha esposa, Lívia, por ser minha companheira eterna e sempre estar ao meu lado;

Aos meus irmãos (Du, Dê, Fê e Ingrid) pelo apoio, incentivos e carinho sempre;

À minha sogra Gi e à minha vó Tica pelo total apoio e carinho;

Ao Dr. Alexandre Berndt, pela confiança depositada em mim, por todos os ensinamentos, orientação, incentivos, conselhos, apoio e pela amizade ao longo desses anos;

Ao orientador, Prof. Dr. Paulo Roberto Leme, pela orientação e amizade, contribuindo para o desenvolvimento do trabalho;

À Embrapa Pecuária Sudeste pela oportunidade de conviver e aprender com todos profissionais da unidade, além de poder realizar meu trabalho durante esses anos;

À FZEA/USP e a todos os responsáveis pelo programa de pós-graduação, por essa oportunidade de retornar a casa após 5 anos e poder fazer parte do programa em zootecnia;

Ao projeto PECUS e aos seus colaboradores pela oportunidade em desenvolver meu trabalho;

Aos demais pesquisadores e professores que contribuíram com este trabalho, Dra. Patrícia Anchão, Dr. André Pedroso, Dr. Rymer, Dra. Teresa, Dr. Maurício, Dr. Paulo Mazza, Dra. Rosana, Dra. Mariana por todo o aprendizado adquirido com suas grandes experiências e grande competência na área;

Aos doutores que contribuíram com a avaliação deste trabalho em minha qualificação e minha defesa;

A todos os familiares Sannomiya, Sakamoto e Lucci que sempre me apoiaram e me incentivaram;

À Gakkai e a família Soka por todo apoio e incentivos;

Aos amigos da DMJ e Sokahan pela amizade e companheirismo;

Aos amigos Amanda, Dani, Kauê, Paulo, Well, Vê, Pri, Lê, Mari, Rafa pela amizade, companheirismo e aprendizado;

Aos amigos “Come”, “Ovã”, “Sara”, “Ufa”, “Mingau”, Laís e seus cônjuges pela amizade e pelos encontros que tivemos;

A todos que puderam contribuir com a execução deste trabalho, aos estagiários, aos bolsistas, aos pós-graduandos e aos funcionários da Embrapa;

À “The University of Adelaide”, Mariana Caetano e Phil Hynd, pela oportunidade de viver uma experiência única em minha vida na Austrália;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida (edital Capes/Embrapa 15/2014);

A todos os que contribuíram para meu crescimento profissional e, principalmente, pessoal.

Muito obrigado!

EPÍGRAFE

*“Não faz mal que seja pouco,
o que importa é que o avanço de hoje
seja maior que o de ontem.
Que nossos passos de amanhã
sejam mais largos que os de hoje.”*

Daisaku Ikeda

RESUMO

SAKAMOTO, L. S. **Intensidades de emissão de gás metano de bovinos Nelore terminados a pasto e cruzados em confinamento**. 2018. 125 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

O aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) por ações antrópicas vem contribuindo para o aquecimento global que causam as mudanças climáticas. O setor agropecuário tem participação nessas emissões, principalmente devido a produção de alimentos necessária para suprir a demanda crescente da população, sendo a emissão de metano (CH_4) entérico pelos bovinos o foco das discussões. Diante desta realidade, o objetivo deste trabalho foi avaliar as intensidades de emissão de CH_4 de bovinos Nelore em sistemas de pastagem e bovinos cruzados em confinamento na fase de terminação. Foram avaliados 48 animais da raça Nelore de duas safras, sendo 24 por safra, distribuídos nos 4 sistemas de produção em pastagem: sob manejo intensivo irrigado com alta lotação (IAL), sob manejo intensivo de sequeiro com alta lotação (SAL), em recuperação sob manejo de sequeiro com lotação animal moderada (SML) e degradada com baixa lotação animal (DEG). A mensuração de metano foi feita pela técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6). Também foram avaliados 63 animais cruzados provenientes de vários grupos genéticos, agrupados em proporção de Adaptado de 25,00% e 37,50% (1A), de 43,75% e 50,00% (2A) e de 56,25%, 62,50%, 68,75% e 75% (3A), em proporção de *Bos taurus*: 31,25%, 50,00%, 56,25% e 75,00%, e segundo a porcentagem de Heterozigose: 50,00% e 62,50% (1H), 81,25% (2H), e 100% (3H). A mensuração do metano foi através dos cochos automatizados (Greenfeed). Todos os animais avaliados eram castrados. Amostras das pastagens foram analisadas e o consumo dos animais Nelore foram estimados, já no confinamento o consumo foi mensurado através do equipamento GrowSafe. Em ambos experimentos foram registrados dados de desempenho animal (peso vivo, ganho de peso, conversão alimentar), de carcaça (área de olho de lombo do músculo *Longissimus*, espessura de gordura, peso de carcaça quente (PCQ) e rendimentos de carcaça (RendC) e do ganho (RendG)) e variáveis relacionadas ao metano. Foram apresentados também dados por hectare nos sistemas a pasto. Os dados foram analisados pelo procedimento MIXED do programa SAS 9.3. Sistemas mais intensificados apresentaram melhores resultados da qualidade de forragem comparados com o DEG, isto refletiu nos resultados de consumo e desempenho desses animais que apresentaram piores resultados. O DEG foi o menos produtivo de todos. Algumas variáveis

relacionadas ao CH₄ apresentaram diferenças entre os tratamentos: 1) a emissão em relação ao ganho de peso diário (CH₄GPD) foi menor para o sistema IAL (371 g CH₄/kg GPD) comparado aos sistemas DEG (478,4) e SAL (484,5), o sistema SML (404,0) não diferenciou dos IAL e DEG; 2) a energia bruta perdida na forma de CH₄ (YM) apresentou maiores valores para os sistemas SAL e DEG comparado aos IAL e SML. Os sistemas mais intensificados apresentaram maior taxa de lotação ($p < ,0001$) e maior ganho de peso e carcaça ($p < ,0001$) por hectare. O SAL apresentou menor intensidade de emissão (IE) calculada pelo RendG que o DEG ($p = 0,0269$). Entretanto os sistemas não apresentaram diferenças na IE por ganho de peso ($p = 0,3602$) e por kg de carcaça calculado pelo RendC ($p = 0,1567$), apesar das diferenças parciais encontradas nas emissões por ano e por taxa de lotação ($p < ,0001$) com valores mais altos para os sistemas intensificados, mostrando a possibilidade de maior produção de carne com uma mesma IE, considerando apenas a emissão de metano entérico. Os agrupamentos dos animais confinados apresentaram diferenças nas variáveis de desempenho, porém apenas a classificação pela heterozigose apresentou diferenças nas variáveis de metano. Animais 3H apresentaram melhores resultados de desempenho em relação aos animais 1H. Para as variáveis relacionadas a carcaça, não houve diferença no PCQ ($p = 0,5842$), porém animais 2H apresentaram maior rendimento cárneo que animais 1H ($p = 0,0177$), e carcaça mais magra que os demais ($p = 0,0007$). Em relação ao metano, animais 2H apresentaram melhores resultados em comparação aos animais 3H, porém os dois grupos apresentaram uma IE calculada pelo RendC menor que animais 1H ($p = 0,0173$). Apesar das diferenças encontradas entre os níveis de intensificação das pastagens ou entre os grupos genéticos estudados, é importante avaliar o sistema como um todo, como o sequestro de carbono dos solos, a emissão de óxido nitroso, produção de dejetos, entre outros e não apenas a emissão de metano dos animais. Podemos concluir com este estudo que sistemas mais intensificados produzem mais carne. Animais com porcentagens de heterozigose acima de 81,25% podem apresentar menor IE de metano que animais com heterozigose abaixo de 62,5% na fase de terminação em confinamento. Além disso, carcaças mais magras com maior rendimento cárneo podem ser obtidas em animais com 81,25% de heterozigose. Para definir qual sistema de produção, grupo genético bovino, tipo de dieta, nível de intensificação utilizar, é importante verificar os que melhor se encaixam em sua estrutura visando uma produção sustentável. Os impactos ambientais causados pela atividade podem até serem neutralizados se o planejamento e a execução forem adequados ao seu objetivo.

Palavras-chave: Fermentação entérica, GreenFeed, Heterozigose, Hexafluoreto de enxofre, Intensificação das pastagens.

ABSTRACT

SAKAMOTO, L. S. **Methane emission intensities from beef cattle Nellore finished on pasture and crossbred in feedlot.** 2018. 125 f. PhD Thesis – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

Increase in greenhouse gas (GHG) emissions from anthropogenic actions has contributed to global warming that is responsible for climate change. The agricultural sector has participation in these emissions, mainly due to the food production necessary to supply the growing demand of the population, therefore the enteric methane (CH_4) emission by cattle becomes the focus of the discussions. In view of this reality, the aim of this study was to evaluate methane emission intensities of Nellore cattle in pasture systems and crossbred cattle in feedlot, both in the finishing phase. Forty-eight animals from two production cycles were evaluated, with twenty-four in each cycle, distributed across four different pasture production systems: intensively managed irrigated pasture with high stocking rate (IHS), intensively managed dry land pasture with high stocking rate (DHS), recovering dry land pasture with moderate stocking rate (DMS) and degraded pasture with low stocking rate (DP). Methane emission was measured using the sulfur hexafluoride (SF_6) gas tracer technique. We also evaluated sixty-three crossbreed animals from several genetic groups, grouped in proportion to Adapted of 25% and 37.5% (1A), 43.75% and 50% (2A) and 56.25%, 62.5%, 68.75% and 75% (3A), in proportion to *Bos taurus*: 31.25%, 50%, 56.25% and 75%, and according to the percentage of heterozygosis: 50% and 62.5% (1H), 81.25% (2H), and 100% (3H). Methane emission was measured through automated troughs (Greenfeed). All animals evaluated were castrated. Pasture samples were analyzed and Nellore animals' intake was estimated, and in feedlot the intake was measured through the GrowSafe machine. In both experiments, animal performance (live weight, weight gain, feed conversion), carcass (*Longissimus* loin eye muscle area, fat thickness, hot carcass weight (HCW) and carcass yield (CY) and gain yield (GY)) data and variables related to methane were recorded. Data per hectare were also recorded in pasture systems. The data were analyzed using the MIXED process of the SAS 9.3 program. The more intensely managed systems presented higher yields of better quality forage, as well as superior animal performance when compared to the DP. Some variables related to CH_4 showed differences between treatments: 1) emissions in relation to average daily weight gain (CH_4ADG) were lower in the IHS system (371 $\text{gCH}_4/\text{kgADG}$) compared to the DP (478.4) and DHS (484.5) systems; the DMS system (404.0)

did not differ significantly from the IHS and DP; 2) gross energy lost in the form of CH₄ (YM) demonstrated higher energy expenditure for the DHS and DP systems compared to the IHS and DMS. Intensified systems had higher stocking rate ($p < .0001$) and weight and carcass gain ($p < .0001$) per hectare. SAL presented lower emission intensity (EI) calculated by the GY than the DEG ($p = 0.0269$). However, the systems did not present differences in emission intensities per weight gain ($p = 0.3602$) and per kg of carcass calculated by carcass yield ($p = 0.1567$), despite the partial differences observed in emissions per year and per stocking rate ($p < .0001$) with higher values recorded for the intensified systems, showing the possibility of higher meat production with the same emission intensity, considering only the enteric methane emission. Groups of confined animals presented some differences in the performance variables, but only the classification by heterozygosity showed differences in the methane variables. Animals classified as 3H showed better performance compared to 1H animals. For variables related to the carcass, there was no difference in PCQ ($p = 0.5842$), but 2H animals presented higher carcass yield than 1H animals ($p = 0.0177$), and leaner carcass compared to the others ($p = 0.0007$). In relation to methane, 2H animals presented better results compared to 3H animals, but two groups had a lower EI calculated by the CY than 1H animals ($p = 0.0173$). Despite the differences found between pasture intensification levels or between genetic groups studied, it is important to evaluate the system as a whole, such as soil carbon sequestration, nitrous oxide emission, waste production, among others and not only methane emissions from animals. We can conclude from this study that intensified systems produce more meat. Animals with heterozygous percentages above 81.25% may presented lower emission intensity of methane than animals with heterozygosis below 62.5% in the feedlot finishing phase. In addition, leaner carcasses with higher beef yield may be obtained in animals with 81.25% heterozygosity. In order to define which production system, bovine genetic group, type of diet, level of intensification to use, it is important to verify the ones that fit best in its structure aiming a sustainable production. The environmental impacts caused by the activity can even be neutralized if planning and execution are appropriate to its objective.

Keywords: Enteric fermentation, GreenFeed, Heterozygosis, Sulfur hexafluoride, Pasture intensification

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação em gráficos das emissões brasileiras de GEE por subsetores do setor agropecuário.	24
Figura 2 - Representação em gráficos das emissões do rebanho bovino brasileiro em relação a emissão global em Gt em CO ₂ -eq. no ano de 2010.	26
Figura 3 - Representação da técnica do gás traçador SF ₆ na colheita de metano entérico em bovinos.....	31
Figura 4 - Representação do cocho automatizado (GreenFeed) utilizado para mensuração de metano entérico em bovinos.	37
Figura 5 - Representação das principais ações de mitigação das emissões de metano entérico.	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Potencial de Aquecimento Global dos principais GEE.....	20
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Porcentagens das emissões antrópicas globais dos principais GEE em 2010.....	19
Gráfico 2 - Emissões brasileiras de GEE no período de 1990 a 2014.....	21
Gráfico 3 - Emissões de GEE global e brasileira em 2010.	22
Gráfico 4 - Emissões brasileiras em porcentagem de GEE e por setor no ano de 2010.....	22
Gráfico 5 - Emissão brasileira proveniente do setor agropecuário em relação a emissão global.	23
Gráfico 6 - Emissões brasileiras de GEE do setor agropecuário.....	23
Gráfico 7 - Produção de CH ₄ , produção de carcaça, rebanho e intensidade de emissão da produção de carne bovina brasileira entre 1997 e 2014.	26
Gráfico 8 -Intensidades de emissão de metano dos principais países produtores de carne bovina mundial.	27
Gráfico 9 - Quantidade de artigos científicos sobre emissão de metano entérico publicados entre 1981 e 2018.	29
Gráfico 10 – Resultados reportados de emissão de CH ₄ entérico e PV dos animais nos artigos científicos brasileiros.	33
Gráfico 11 - Resultados reportados de emissão de CH ₄ entérico e CMS dos animais nos artigos científicos brasileiros.	33
Gráfico 12 - Regressão entre consumo de matéria seca e emissão de metano em g/dia.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Artigos científicos brasileiros utilizando a técnica do gás traçador SF ₆ para mensuração de metano entérico em bovinos de corte (cont.).	34
Tabela 2 - Artigos científicos brasileiros utilizando o equipamento GreenFeed para mensuração de metano entérico em bovinos.	38
Tabela 3 - Análise bromatológica da forragem nos sistemas de produção avaliadas na primeira safra.	50
Tabela 4 - Análise bromatológica da forragem nos sistemas de produção avaliadas na segunda safra.	51
Tabela 5 - Consumo de forragem, em kg de matéria seca por dia (kg/dia), estimado por safra, por estação e por sistema de produção a pasto.	52
Tabela 6 - Número de animais avaliados separados por grupos genéticos.	57
Tabela 7 - Grupos genéticos representados como a porcentagem de Bos taurus, Bos indicus e Adaptado.	59
Tabela 8 – Proporção de Heterozigose nos grupos genéticos estudados.	60
Tabela 9 - Proporção dos ingredientes na dieta experimental em porcentagem com base na matéria seca.	60
Tabela 10 - Composição bromatológica da dieta experimental.	62
Tabela 11 - Valores médios da produção e qualidade das forragens dos sistemas de produção nos dois anos de avaliação.	68
Tabela 12 – Resultados médios anuais (média dos dois períodos) das variáveis de desempenho obtidas de machos Nelore em sistemas com diferentes níveis de intensificação a pasto.	69
Tabela 13 - Resultados médios anuais (média de dois anos) do desempenho animal por hectare dos sistemas de produção a pasto com diferentes níveis de intensificação.	70
Tabela 14 - Variáveis de metano obtidas de machos Nelore em sistemas com diferentes níveis de intensificação a pasto.	72
Tabela 15 - Resultados médios anuais (média de dois anos) das variáveis de metano por hectare dos sistemas de produção a pasto com diferentes níveis de intensificação.	73
Tabela 16 - Comparação de médias das variáveis relacionadas ao consumo dos animais classificadas pela proporção de Adaptado, de B. taurus e de Heterozigose.	75
Tabela 17 - Comparação das médias das variáveis de desempenho classificadas pela proporção de Adaptado nos animais.	76

Tabela 18 - Comparação das médias das variáveis de desempenho classificadas pela proporção de B. taurus nos animais.	77
Tabela 19 - Comparação das médias das variáveis de desempenho classificadas pela proporção de Heterozigose.....	78
Tabela 20 - Comparação das médias das variáveis de emissão de metano entérico classificadas pela proporção de Adaptado nos animais.	79
Tabela 21 - Comparação das médias das variáveis de desempenho classificadas pela proporção de B. taurus nos animais.	80
Tabela 22 - Comparação das médias das variáveis de emissão de metano entérico classificadas pela proporção de Heterozigose.	81
Tabela 23 - Valores médios das variáveis de desempenho e relacionadas ao metano, do período mensurado, dos sistemas a pasto e em confinamento.	96

LISTA de ABREVIATURAS e SIGLAS

ABIEC	Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne
AFOLU	agriculture, forestry and other land use
CTC	capacidade de troca catiônica
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GEE	gases de efeito estufa
Gg	unidade de medida Gigagrama ($1 \text{ Gg} = 10^6 \text{ kg}$)
Gt	unidade de medida Gigatonelada ($1 \text{ Gt} = 10^{12} \text{ kg}$)
GWP	global warming potential
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IE	intensidade de emissão
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações
NRC	Nacional Research Council
PIB	produto interno bruto
ppm	partes por milhão
ppt	partes por trilhão
PVC	policloreto de vinila
Tec	medida de padronização do peso da carne em toneladas de equivalente carcaça
UN	United Nations
USDA	United States Department of Agriculture
Wi-fi	wireless fidelity

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂ -eq.	medida internacional dos GEE expressa em equivalência em dióxido de carbono baseada no potencial de aquecimento global
SF ₆	hexafluoreto de enxofre
°C	graus Celsius
CO ₂	dióxido de carbono ou gás carbônico
CH ₄	gás metano
N ₂ O	óxido nitroso
H ₂	gás hidrogênio
C	carbono
R ²	coeficiente de determinação
W	west (oeste)
N	nitrogênio
MJ	Megajoule
N ₂	gás nitrogênio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. HIPÓTESE, MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS	17
2.1. HIPÓTESE	17
2.2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS	17
2.2.1. Objetivo geral	17
2.2.2. Objetivos específicos	18
3. REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1. EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA – CENÁRIO GLOBAL E BRASILEIRO.....	19
3.2. METODOLOGIAS DE MENSURAÇÃO DE METANO ENTÉRICO	28
3.2.1. Técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF ₆).....	30
3.2.2. Cocho automatizado (GreenFeed)	36
3.3. AÇÕES DE MITIGAÇÃO DO METANO ENTÉRICO	39
3.3.1. Melhoramento genético.....	43
3.3.2. Manejo de pastagem.....	44
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	47
4.1. LOCAL.....	47
4.2. EXPERIMENTO 1 – PASTAGEM	47
4.2.1. Animais.....	47
4.2.2. Tratamentos: sistemas de produção a pasto	47
4.2.3. Produção, qualidade e consumo da forragem	48
4.2.4. Desempenho animal e abate (produção de carcaça)	52
4.2.5. Mensuração do metano entérico: técnica do gás traçador SF ₆	53
4.2.5.1. Cromatografia gasosa	54
4.2.5.2. Variáveis relacionadas à emissão de metano entérico.....	55
4.2.6. Análises estatísticas	56
4.3. EXPERIMENTO 2 – CONFINAMENTO	56
4.3.1. Animais e manejo	56
4.3.2. Tratamento: grupos genéticos.....	57
4.3.3. Dieta e consumo	60
4.3.4. Desempenho animal e abate (produção de carcaça)	62
4.3.5. Mensuração do metano entérico e gás carbônico: GreenFeed.....	63

4.3.5.1.	Variáveis relacionadas à emissão de metano entérico	64
4.3.6.	Análises estatísticas	65
5.	RESULTADOS	67
5.1.	EXPERIMENTO 1	67
5.1.1.	Qualidade e consumo da forragem	67
5.1.2.	Desempenho animal e produção de carcaça	68
5.1.3.	Metano entérico	70
5.2.	EXPERIMENTO 2	74
5.2.1.	Consumo da dieta	74
5.2.2.	Desempenho animal e produção de carcaça	76
5.2.3.	Metano entérico	78
6.	DISCUSSÃO	83
6.1.	EXPERIMENTO 1	83
6.1.1.	Qualidade e consumo da forragem	83
6.1.2.	Desempenho animal e produção de carcaça	84
6.1.3.	Metano entérico	85
6.2.	EXPERIMENTO 2	89
6.2.1.	Consumo da dieta	89
6.2.2.	Desempenho animal e produção de carcaça	89
6.2.3.	Metano entérico	90
7.	CONCLUSÃO	93
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
	APÊNDICE A	113
	APÊNDICE B	114
	APÊNDICE C	115
	APÊNDICE D	116
	APÊNDICE E	117
	APÊNDICE F	118
	APÊNDICE G	119
	APÊNDICE H	120
	APÊNDICE I	121
	APÊNDICE J	122

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013), o aquecimento do sistema climático é evidente e muitas mudanças foram observadas ao longo de décadas, como o aquecimento da atmosfera e do oceano, a diminuição da quantidade de neve e gelo, o aumento do nível do mar e da concentração de gases de efeito estufa (GEE).

Na última década, o debate sobre as mudanças climáticas, causadas pelas emissões de GEE e consequente aquecimento global alcançou o setor agropecuário mundial. Em todo o planeta, as nações notaram que a produção de alimentos, fundamental para o desenvolvimento das sociedades, também contribui com as emissões. Apesar de a queima de combustíveis fósseis e os processos industriais serem as maiores fontes de GEE, respondendo por 65% das emissões globais (IPCC, 2014), outros setores produtivos e agropecuários também podem contribuir para a redução das emissões. O contexto global indica que a população mundial continuará a crescer 1,10% ao ano, chegando a aproximadamente 9,8 bilhões em 2050 (UN, 2017) e que a demanda por alimentos acompanhará este crescimento. A proteína animal proveniente da carne, leite e ovos são responsáveis por suprir 34% da proteína consumida globalmente (FAO, 2017). Em 2050 a produção total de carne e leite deverá aumentar em 73% e 58%, respectivamente, para atender esta demanda (FAO, 2011), principalmente através de melhorias nos sistemas extensivos de produção, fundamentados na exploração eficiente de pastagens tropicais, aplicando técnicas de fertilização e de manejo intensivo.

Dentre todos os setores produtivos, o setor pecuário contribui para as mudanças climáticas com emissões estimadas em 7,1 Gt de CO₂-eq por ano, representando 14,5% do total de emissões de GEE induzidas por humanos (FAO, 2013). A produção de carne e leite contribui com 5,9% e 2,9%, respectivamente, do total das emissões. As duas principais fontes de emissão do setor pecuário são a produção e processamento de alimentos e a fermentação entérica representando 4,0% e 3,5%, respectivamente, do total emitido. Manejo de dejetos representa 10% da emissão do setor e o restante é atribuído ao tratamento e transporte de produtos de origem animal (FAO, 2013). Com base nessa realidade, as emissões de GEE de sistemas de produção agropecuários irão aumentar a medida que a população mundial crescer e consequentemente demandar mais alimentos (O'MARA, 2011), porém será menos representativo visto que a maior emissão é proveniente da queima de combustíveis fósseis.

A produção mundial de carne bovina em 2017 foi de 61,6 milhões tec (toneladas em equivalente carcaça), sendo o Brasil o segundo maior produtor (9,55 milhões de toneladas) e maior exportador mundial (1,86 milhões de toneladas) (USDA, 2018).

O Brasil é um país com dimensões continentais e apresenta diversos sistemas de produção pecuária abrangendo diferentes níveis de intensificação. O rebanho pecuário brasileiro é basicamente criado em seu ambiente natural, sendo sua principal fonte de alimento as pastagens que ocupam cerca de 20% do total de área do país, sendo 1% considerado em estágio avançado de degradação (ABIEC, 2017). Considerando que o Brasil possui o maior rebanho comercial do mundo com aproximadamente 219 milhões de cabeças e utiliza 165 milhões de hectares para tal produção (ABIEC, 2017) podemos estimar uma taxa de lotação média de 1,33 cabeça por hectare. Segundo o último Censo Agropecuário (2018) o Brasil possui um rebanho de 172 milhões de cabeças e uma área de pastagem de 159 milhões de hectares. Isso levaria a uma taxa de lotação de 1,08 cabeças por ha. Nas últimas três décadas observou-se que a pecuária brasileira vem ocupando gradativamente menos área e aumentando sua produção, com ganhos de produtividade (IBGE, 2007), pois em 1970 a taxa de lotação era de 0,51 cabeça por hectare, enquanto em 2006 o valor dobrou atingindo 1,1 cabeça por hectare (OLIVEIRA, 2015).

Segundo a FAO (2013), as emissões de GEE no setor agropecuário poderiam ser reduzidas entre 18 e 30% (ou de 1,8 para 1,1 Gt CO₂-eq.) se produtores em um dado sistema, região e clima adotassem as práticas aplicadas por 10 a 25% dos produtores que apresentam menores intensidades de emissão em suas propriedades, sendo que a maioria dessas tecnologias e práticas que mitigam as emissões também melhoram a produtividade.

O Brasil tem papel de destaque neste cenário, pois possui uma extensa área territorial associada a uma condição climática favorável, uma boa competência produtiva e uma crescente preocupação com a sustentabilidade. Contudo ainda são poucos os trabalhos publicados com mensuração de metano e ações de mitigação considerando os diferentes sistemas de produção, diferentes raças de bovinos e diferentes fontes de alimentação no país. Trabalhos com esse objetivo são importantes para desmistificar visões equivocadas sobre os impactos causados pela atividade pecuária, mostrando assim o uso de estratégias para o aumento da produtividade e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais causadas pela emissão de GEE que constitui parte de um compromisso voluntário do país de redução de emissões.

2. HIPÓTESE, MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

2.1. HIPÓTESE

A hipótese deste trabalho é de que bovinos da raça Nelore terminados em sistemas de produção a pasto com níveis de intensificação diferentes e distintos grupos genéticos de bovinos terminados em confinamento influenciem a emissão de metano entérico e as intensidades de emissão (kg CO₂-eq./kg carc.).

2.2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

Considerando a grande diversidade dos sistemas de produção, das raças bovinas, dos grupos genéticos e das dietas dos animais, é difícil estabelecermos coeficientes técnicos médios que representem todo o Brasil. Porém como ainda são poucos os trabalhos de avaliação da emissão de metano entérico e sua intensidade de emissão no país, isso acaba se tornando um valor de referência para os demais países ao redor do mundo. Por isso há a necessidade de mais pesquisas e estudos para a obtenção de dados confiáveis de acordo com cada região ou sistema de produção. O grande potencial do país em produzir alimentos é, algumas vezes, visto de forma negativa pela sociedade devido às falhas de comunicação e carência de publicações evidenciando as melhorias alcançadas ao longo de décadas. A aplicação de tecnologias como o melhoramento genético e manejo de pastagens com objetivo de aumentar a produtividade refletem em menor impacto sobre o ambiente visto que a produção de carne brasileira é principalmente realizada a pasto. Diante do exposto o que motivou a execução deste trabalho foi a desmistificação da visão improdutiva ou não sustentável da produção pecuária brasileira através de resultados obtidos com rigor científico, com o objetivo específico de avaliar e entender o equilíbrio entre o aumento da produtividade e a minimização dos impactos ambientais, principalmente através da emissão de GEE pelos ruminantes.

2.2.1. Objetivo geral

Foram realizados dois experimentos. No primeiro objetivou-se avaliar animais Nelore criados em sistemas de pastagem com diferentes níveis de intensificação e, no segundo avaliar animais cruzados oriundos de grupos genéticos de bovinos de corte em sistema de confinamento, ambos em relação ao desempenho, eficiência alimentar, emissão de metano, produção de carcaça e intensidades de emissão nos sistemas de produção de carne bovina.

2.2.2. Objetivos específicos

Mensurar as variáveis de desempenho e emissão de metano entérico avaliando, assim, suas relações e intensidades, em animais da raça Nelore a pasto com diferentes níveis de intensificação, utilizando a técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6) para a mensuração do metano, e em animais de grupos genéticos diferentes em sistema de confinamento, utilizando cocho automatizado de mensuração de metano e gás carbônico (GreenFeed).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA – CENÁRIO GLOBAL E BRASILEIRO

O efeito estufa é um mecanismo chave na regulação da temperatura da terra. Sem o mesmo a temperatura média da superfície terrestre não seria de 15°C, mas sim de -33°C. A energia recebida do Sol retorna ao espaço através da reflexão de luz e emissão de calor e uma parte deste fluxo é absorvida pelos gases do efeito estufa (GEE), retendo-o na atmosfera. O excesso de emissão de GEE por ações antrópicas, ou seja, pela ação do homem, vem contribuindo para o aumento da temperatura da terra, que é conhecido como aquecimento global, cuja principal consequência é a mudança climática (OLIVEIRA, 2015). Os principais GEE envolvidos neste processo incluem o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e clorofluorcarbonos (CFC) (FAO, 2006). O aumento das concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O na atmosfera são resultados de atividades humanas que se iniciaram em meados de 1750 (IPCC, 2014).

Segundo o IPCC (2014) a emissão total de GEE por ação antrópica, em 2010, foi de 49 ± 4,5 Gt CO₂-eq/ano, sendo a emissão de CO₂ proveniente da queima de combustíveis fósseis e dos processos industriais responsável por aproximadamente 65% do total emitido, seguido da emissão de CH₄ (16%), de CO₂ proveniente da mudança no uso da terra (11%), de N₂O (6,2%), e de gases fluorados (2,0%) (Gráfico 1). Apesar da maior emissão de CO₂, é importante a mensuração dos outros gases, pois cada gás possui seu respectivo potencial (Quadro 1) de aquecimento global – (GWP, sigla em inglês de Global Warming Potential) tendo como unidade comum o equivalente em dióxido de carbono (CO₂eq).

Gráfico 1 - Porcentagens das emissões antrópicas globais dos principais GEE em 2010.

Fonte: Adaptado do IPCC (2014)

Quadro 1 - Potencial de Aquecimento Global dos principais GEE.

Gás	Símbolo	GWP SAR-1995	GWP AR5-2014
Dióxido de carbono	CO ₂	1	1
Metano	CH ₄	21	28
Óxido Nitroso	N ₂ O	310	265
Hidrofluorcarbonos	HFC-23	11.700	12.400
	HFC-32	650	677
	HFC-125	2.800	3.170
	HFC-134a	1.300	1.300
	HFC-143a	3.800	4.800
	HFC-152	140	16
Perfluorcarbonos	CF ₄	6.500	6.630
	C ₂ F ₆	9.200	11.100
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	23.900	23.500

Fonte: Adaptado do MCTI, 2016.

O GWP é utilizado como uma unidade comum para todos os GEE, para a elaboração dos inventários nacionais, e seu cálculo é baseado na quantidade removida da atmosfera do gás em 100 anos. Houve uma diferença nos GWP entre a publicação do IPCC (1990) e IPCC (2014), isso depende de quais aspectos da mudança climática são considerados mais importantes (MCTI, 2016).

Outra forma de apresentar as emissões de GEE considera os principais setores da economia: produção de energia e calor (25%), mudanças no uso da terra (24%), indústria (21%), transporte (14%), outras energias (9,6%) e construções (6,4%) (IPCC, 2014). É importante destacar que dentro dos 25% das emissões do setor de produção de energia e calor, 11% é de responsabilidade da indústria, 12% do setor de construções, 0,87% proveniente da mudança de uso da terra, e 0,3% do setor de transportes (IPCC, 2014).

A partir do ano de 2006, o Brasil mudou seu perfil de emissão de GEE que era então liderado pelo setor de “Uso da terra, mudança do uso da terra e florestas”, principalmente decorrente do desmatamento de florestas, como a Amazônia. Em 2005 este setor era responsável por 70% do total das emissões de GEE, mas com o monitoramento e fiscalização das matas, o desmatamento foi mais controlado, diminuindo mais de 80% a emissão proveniente deste setor (Gráfico 2). Com esse controle do desmatamento houve uma redução

da ordem de 50% nas emissões totais do Brasil entre 2005 e 2014, assim como uma redistribuição em relação as porcentagens de emissão por setor, dando maior destaque para os setores da agropecuária e de energia (MCTIC, 2016).

Gráfico 2 - Emissões brasileiras de GEE no período de 1990 a 2014.

Fonte: Adaptado do MCTIC, 2016.

O Brasil é um país em desenvolvimento com grandes proporções territoriais e emitiu 1.271.399 Gg CO₂-eq. no ano de 2010 (MCTI, 2016), ou seja, o Brasil foi responsável por 2,59% da emissão total mundial (Gráfico 3), sendo considerado o sétimo país em relação a emissão de GEE. Os 10 países com maior emissão de GEE representam aproximadamente 70% do total emitido no mundo (CAIT, 2018). Em 2013, a maior emissora foi a China com 11,6 Gt CO₂-eq., seguida dos Estados Unidos (6,3 Gt CO₂-eq.), União Européia (3,6 Gt CO₂-eq.), Índia (3,2 Gt CO₂-eq.), Indonésia (2,5 Gt CO₂-eq.) e Rússia (2,0 Gt CO₂-eq.) (CAIT, 2018).

Desta emissão brasileira, 738.682,8 Gg foram na forma de CO₂, 350.906,1 Gg na forma de CH₄, 174.181,7 Gg como N₂O, e 7.628,4 Gg como gases fluorados (MCTI, 2016) (Gráfico 4). O setor que teve uma maior representação nas emissões foi o setor agropecuário com 407.072,40 Gg CO₂-eq., seguido do setor energético (371.095,80 Gg CO₂-eq.), uso da terra, mudança do uso da terra e florestas (349.176,30 Gg CO₂-eq.), processos industriais (89.947,22 Gg CO₂-eq.), e resíduos (54.126,80 Gg CO₂-eq.) (MCTI, 2016) (Gráfico 4).

Gráfico 3 - Emissões de GEE global e brasileira em 2010.

Fonte: Adaptado do IPCC (2014) e MCTI (2016)

Gráfico 4 - Emissões brasileiras em porcentagem de GEE e por setor no ano de 2010.

Fonte: Adaptado do MCTI (2016)

O Brasil é um dos principais países produtores de proteína animal (frangos, suínos e bovinos). O PIB do agronegócio representou 24% do total brasileiro em 2016 (ABIEC, 2017), sendo que a pecuária contribuiu com 31% do PIB do agronegócio, o setor agropecuário dos Estados Unidos, por exemplo, representa apenas 2% do PIB. Segundo a ABIEC (2017), em 2016 o rebanho bovino brasileiro possuía aproximadamente 218 milhões de cabeças distribuídos em 165 milhões de hectares, enquanto a produção de carne foi de 9,14 milhões t_{ec}, sendo 1,88 milhões de toneladas (20,57%) exportadas. A dimensão continental do Brasil aliada à pujança do agronegócio resultam em que o setor agropecuário seja o principal emissor de GEE no país (32%), responsável por 1% de toda emissão mundial (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Emissão brasileira proveniente do setor agropecuário em relação a emissão global.

Fonte: Adaptado do IPCC (2014) e MCTI (2016)

Os principais GEE dentro do setor agropecuário, são CH₄ (260.723,2 Gg) e N₂O (146.661,0 Gg) (Gráfico 6), e as emissões são divididas em outros subsetores os quais representam os principais emissores e, conseqüentemente, os responsáveis pelo crescimento do PIB nacional (Figura 1). Em primeiro lugar vem a pecuária (fermentação entérica), principalmente do rebanho bovino, representando 57,5% das emissões do setor, seguida da agricultura (solos agrícolas) com 35,0%, manejo de dejetos animais com 4,1%, cultura de arroz com 2,5%, e a queima de cana e algodão com 1,3% (MCTI, 2016).

Gráfico 6 - Emissões brasileiras de GEE do setor agropecuário.

Fonte: Adaptado do MCTI (2016)

Figura 1 - Representação em gráficos das emissões brasileiras de GEE por subsetores do setor agropecuário.

Fonte: Adaptado do MCTI (2016)

A fermentação entérica é uma parte natural do processo digestivo de ruminantes, onde os microrganismos decompõem e fermentam os alimentos presentes no trato digestivo ou no rúmen, aumentando os teores de H_2 . Em animais ruminantes aproximadamente 95% da fermentação ocorre no rúmen, e 5% no intestino, sendo assim optou-se por adotar o termo entérico que representa o todo. Porém os dois termos, metano entérico e metano ruminal, são utilizados nos artigos e conhecidos mundialmente. A produção de CH_4 está diretamente relacionada com a concentração de H_2 , e é um processo natural e intrínseco aos ruminantes realizado pelas arqueias metanogênicas, que são microrganismos estritamente anaeróbios. Sua principal função no rúmen é oxidar o $NADH + H^+$ para a liberação da coenzima $NAD^+ + H_2$ que é essencial para a produção de energia para as células. As arqueias metanogênicas fazem o papel de reguladoras do pH ruminal retirando do meio esses íons de H^+ , que juntamente com o CO_2 produzidos pelo processo de digestão, formam o CH_4 , e assim são emitidos pela eructação. Dentro do processo fermentativo a produção de metano varia entre 30 a 40% em relação ao total de gases produzidos, dependendo da concentração e das proporções relativas dos ácidos graxos produzidos (OWENS e GOESTSCH, 1993). A emissão de metano tende a acompanhar o crescimento do rebanho, ou seja, quanto mais cabeças de bovinos mais CH_4 será emitido, e pode alterar de acordo com o valor nutritivo e a composição química da alimentação e do nível de consumo do animal (WARNER et al., 2017), representando uma perda energética que pode variar de 2 a 12% da energia bruta consumida (JOHNSON, 1992). Dietas mais concentradas, ou seja, ricas em grãos contribuem para maior formação do ácido propiônico, enquanto dietas com maior teor de alimento volumoso favorecem a produção de ácido acético (OWENS e GOESTSCH, 1993), com isso a relação acetato:propionato diminui, disponibilizando menos H_2 utilizados no processo da metanogênese (JANSSEN, 2010). A emissão de metano proveniente do rebanho de bovinos no Brasil representa 0,46% (226.309 Gg) das emissões totais mundiais em CO_2 -eq. (Figura 2). Considerando 21 o GWP do metano (IPCC, 1990), em 2000 a emissão total de metano entérico de bovinos (corte e leite) foi estimada em 189.122 Gg CO_2 -eq, já em 2005 a emissão foi de 227.970 Gg CO_2 -eq e em 2010 totalizou 226.766 Gg CO_2 -eq (MCTI, 2016). Se verificarmos as populações de bovinos nesses três anos encontramos aproximadamente 169,9, 207,2 e 209,5 milhões de cabeças (IBGE, 2018), respectivamente. Assim verifica-se uma emissão de 53,0; 52,4; e 51,5 kg de CH_4 por animal nos anos 2000, 2005 e 2010, respectivamente, mostrando que na última década o Brasil vem se preocupando em aplicar boas práticas de manejo de pastagens, de sanidade, de nutrição e de melhoramento com reflexos na mitigação ou redução das emissões de GEE do setor agropecuário.

Figura 2 - Representação em gráficos das emissões do rebanho bovino brasileiro em relação a emissão global em Gt em CO₂-eq. no ano de 2010.

É importante mensurar a emissão de metano entérico bruta dos animais, assim como a intensidade de emissão, ou seja, a quantidade de metano que foi emitida para produzir 1 kg de carne ou 1 litro de leite, indicador mais utilizado e aceito para representar a eficiência de produção. Desde 1997 até 2014 o Brasil vem mostrando uma queda na intensidade de emissão (kg CO₂-eq. / kg eq. carc.) (Gráfico 7), em consequência do aumento da produtividade dos animais, pois a população animal e a emissão de metano bruta, ao longo desses anos, aumentaram aproximadamente 32% e 29%, respectivamente, enquanto a produção de carcaça teve um aumento em torno de 142% (IBGE, 2018).

Gráfico 7 - Produção de CH₄, produção de carcaça, rebanho e intensidade de emissão da produção de carne bovina brasileira entre 1997 e 2014.

Fonte: Adaptado do MCTIC (2016) e IBGE (2018).

Comparando a intensidade de emissão (kg CO₂-eq/kg carne) dos principais países produtores de carne bovina do mundo, entre 1961 a 2016, a Índia lidera o ranking com valor acima de 100, seguido do Brasil e Argentina com 36 e 32, respectivamente (FAO, 2018). Ao longo desse período a China, com a aplicação tecnológica e, consequente aumento da produtividade, vem diminuindo sua intensidade de emissão, e hoje está em torno de 15. Os Estados Unidos, como o maior produtor de carne bovina do mundo, apresentam a menor intensidade de emissão, a razão disso é o uso do sistema de confinamento dos animais, que é a base do sistema produtivo americano, como mostra o Gráfico 8. São dois gráficos, um com China, Índia, EUA, União Européia, Austrália, Argentina e Brasil, e o outro retirando a China e a Índia devido a diferença nas intensidades de emissão no período (1961-2016) representado. Vale destacar que neste cálculo da FAO são atribuídas à pecuária de corte brasileira todas as emissões decorrentes do desmatamento, o que em nossa perspectiva constitui um erro metodológico. Apesar do Brasil apresentar uma das maiores intensidades de emissão, principalmente devido a grande maioria da carne vir do sistema de pastagem, é importante ressaltar a capacidade de sequestro de carbono das pastagens tropicais, sendo um grande diferencial em comparação com os demais países, já que 89% do potencial de mitigação das emissões de GEE está relacionada ao sequestro de C do solo (OLIVEIRA, 2015).

Gráfico 8 -Intensidades de emissão de metano dos principais países produtores de carne bovina mundial.

Fonte: Adaptado da FAO (2018).

A estimativa de emissão para o Brasil para o ano de 2015 foi de 1.368 milhões de toneladas de CO₂eq., sendo o setor agropecuário responsável por 31% do total emitido, e a

fermentação entérica responsável por 17,6% do total, ou seja, 240,8 milhões de toneladas de CO₂eq. (MCTIC, 2018).

3.2. METODOLOGIAS DE MENSURAÇÃO DE METANO ENTÉRICO

O objetivo principal de medir a emissão de metano entérico é obter dados precisos das emissões provenientes de ruminantes para a publicação e atualização de inventários nacionais, assim como gerar conhecimentos para desenvolvimento de protocolos de seleção genética e avaliação de estratégias de mitigação (ANDREINI et al., 2017; HAMMOND et al., 2016). Para uma avaliação e mensuração correta de gases emitidos pelos ruminantes é importante sempre considerar alguns aspectos relevantes como:

- Interferência da metodologia na rotina do animal
- Interferência ou mudança no gás emitido a ser avaliado
- Mudanças em seu ambiente natural ou produtivo
- Facilidade para análise das amostras e dos dados
- Interferência nas práticas de mitigação utilizadas como tratamentos

O desenvolvimento de metodologias para mensuração de metano entérico contribui para o desenvolvimento de estratégias de mitigação visando a redução da perda de energia na forma de metano pelos bovinos (JOHNSON e JOHNSON, 1995). Ao longo de mais de 100 anos, de técnicas mais simples a metodologias sofisticadas, todos os esforços e trabalhos para realizar a mensuração de metano entérico foram se aprimorando e se adequando as condições dos sistemas de produção (BROUCEK, 2014; HAMMOND et al., 2016; HILL et al., 2016; HRISTOV et al., 2018; LARIOS et al., 2016).

As câmaras respirométricas foram pioneiras e de grande importância para estudos com emissão de gases, e também exigências energéticas dos animais, gerando as primeiras informações para a elaboração das tabelas do NRC (NRC, 2001). Possuem alta acurácia nos resultados, porém é um método oneroso com avaliação de poucas repetições em um ambiente totalmente artificial aos animais (JOHNSON e JOHNSON, 1995). Métodos mais simples, porém, com restrições semelhantes surgiram, tais como o uso de capuz ou máscaras, onde os animais precisam ser contidos ou confinados (KELLY et al., 1994; YOUNG; KERRIGAN; CHRISTOPHERSON, 1975). Após isso, outras metodologias com ideias inovadoras foram se desenvolvendo, como o uso de traçadores ou a inserção de indicadores, como hexafluoreto de enxofre – SF₆ (gás inerte) (BOADI; WITTENBERG; KENNEDY, 2002; JOHNSON et al., 1994; LASSEY et al., 2011), este último sendo o mais utilizado e aceito como metodologia de

mensuração de metano entérico de animais em seus ambientes naturais. Mais recentemente tem surgido mensuradores em tempo real, como cochos automatizados (COTTLE et al., 2015; HEGARTY, 2013; MANAFIAZAR; ZIMMERMAN; BASARAB, 2015), uso de laser (GAO et al., 2011; RICCI et al., 2014; TOMKINS e CHARMLEY, 2015) e sensores (FLESCH et al., 2018), além de técnicas de produção de gases *in vitro* (DANIELSSON et al., 2017).

Hoje a quantidade de pesquisas e trabalhos com o objetivo de mensurar a emissão de metano de ruminantes, principalmente bovinos, tem aumentado bastante (Gráfico 9), consequência do maior rebanho mundial e a maior importância deste setor para suprir a demanda por alimentos, e as suas consequentes contribuições para as emissões globais. Existem diversas tecnologias utilizadas em todo o mundo para quantificar a emissão de metano entérico, podendo ser realizadas por métodos *in vitro* ou *in vivo*, estas diferem em seu modo de aplicação, custo, acurácia e precisão.

Gráfico 9 - Quantidade de artigos científicos sobre emissão de metano entérico publicados entre 1981 e 2018.

Fonte: Adaptado do SIBI-USP

Com essa busca por um melhor mensurador de metano entérico, alguns trabalhos avaliaram as emissões utilizando e comparando algumas metodologias disponíveis, mostrando as vantagens e desvantagens entre eles (BHATTA et al., 2007; DOREAU et al., 2018; DORICH et al., 2015; HAMMOND et al., 2015; HRISTOV et al., 2016; JONKER et al., 2016; MCGINN et al., 2006; OSS et al., 2016; PINARES-PATIÑO; CLARK, 2008; STORM et al., 2012; TROY et al., 2016).

3.2.1. Técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF₆)

A metodologia do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF₆) foi desenvolvida e patenteada por Patrick R. Zimmerman em 1993 e tinha como objetivo mensurar as emissões metabólicas de animais, principalmente disponibilizar uma tecnologia capaz de mensurar o gás metano de ruminantes sem precisar remover os animais de seu ambiente de pastagem, para confinamentos ou câmaras (ZIMMERMAN, 1993). O primeiro trabalho utilizando essa técnica foi realizado na Universidade de Washington, e concluiu-se ser uma técnica simples e de baixo custo com grande capacidade de mensuração da emissão de metano entérico (JOHNSON et al., 1994). Essa metodologia é a mais utilizada para gerar dados de emissão de metano de bovinos e ovinos e, desde sua primeira aplicação vem sendo aprimorada e adaptada aumentando a acurácia dos resultados (BERNDT et al., 2014; DEIGHTON et al., 2011, 2013, 2014; LASSEY et al., 2011; WILLIAMS et al., 2011). No Brasil a técnica foi adaptada as condições locais e disponibilizada através do Documento 39 da Embrapa (PRIMAVESI et al., 2004) e, mais recentemente, aperfeiçoada com novas diretrizes internacionais do uso da técnica (BERNDT et al., 2014).

Atualmente é uma técnica bem consolidada (BOADI; WITTENBERG; KENNEDY, 2002) e pode ser usada com confiança em estudos comparando efeitos de tratamentos (PINARES-PATIÑO e CLARK, 2008), principalmente em animais a pasto (MCGINN et al., 2006). Além disso, possui correlações médias a altas com os resultados das câmaras respirométricas (MCGINN et al., 2006; OSS et al., 2016) e com os das técnicas mais modernas utilizando sistema automatizado em tempo real (HAMMOND et al., 2015; HRISTOV et al., 2016).

O conceito base da metodologia é que a emissão de CH₄ entérico pode ser estimada se a taxa de emissão de um gás traçador dentro do rúmen for conhecida e não sofrer qualquer tipo de alteração (STORM et al., 2012). O gás traçador escolhido e utilizado foi o SF₆, um gás inerte, não tóxico, detectado em baixas concentrações e que não interfere na fermentação entérica (PRIMAVESI et al., 2004; STORM et al., 2012; BERNDT et al., 2014). Nesta técnica de mensuração é utilizado um tubo de permeação (uma cápsula de latão preenchida criogenicamente com o gás SF₆) emissor de gás SF₆ com fluxo constante conhecido, que é fornecido através da boca do animal e permanece no retículo/rúmen liberando uma taxa constante, pequena e conhecida do gás traçador. Essa cápsula é preparada, armazenada em estufa a 39°C (DEIGHTON et al., 2011) e calibrada através de pesagens semanais com $R^2 > 0,997$ para garantir a emissão constante e linear (PINARES-PATIÑO e CLARK, 2008) alguns meses antes do início do experimento. Assume-se que o padrão de emissão de SF₆ simule o

padrão de emissão de CH_4 para o posterior cálculo da quantificação de metano na amostra através das concentrações de SF_6 . O SF_6 liberado no interior do trato se mistura aos demais gases produzidos pela fermentação ruminal agindo como um gás traçador ao ser eructado.

O gás expelido pela boca e narinas é aspirado, de forma controlada e contínua através de um tubo capilar de aço inoxidável, por um equipamento fixado em cabresto e ligado a um tubo de PVC (canga) submetido a vácuo, que fica alojado no pescoço ou dorso do animal (Figura 3). Após cada período de coleta, geralmente 24 horas, as cangas são encaminhadas para a análise cromatográfica onde há a determinação da concentração dos gases SF_6 e CH_4 . As coletas de metano são realizadas por 5 a 8 dias consecutivos, com troca diária das cangas.

Figura 3 - Representação da técnica do gás traçador SF_6 na colheita de metano entérico em bovinos.

Fonte: Própria autoria.

Durante o período de coleta são mantidas no ambiente cangas exclusivas para a coleta de amostras do ar ambiental. Estas cangas são colocadas em pontos estratégicos no ambiente para representar as mesmas condições a que os animais estão submetidos. A determinação das concentrações de CH_4 e SF_6 , coletadas nas cangas, é realizada em cromatografia gasosa, com detector de ionização de chama para o CH_4 e detector de captura de elétrons para o SF_6 . A quantidade de metano entérico é calculada e estimada em função das concentrações de SF_6 , associando os resultados à taxa conhecida de liberação do gás traçador pela cápsula depositada

no rúmen (Berndt et al., 2014). O cálculo da emissão de CH₄ em g/dia é através da proporção de CH₄:SF₆ encontrada na canga com a correção das concentrações encontradas no ambiente (branco) e dos pesos moleculares dos gases pela seguinte equação:

$$ECH_4 = ESF_6 \times \frac{(CH_4)_C - (CH_4)_{Br}}{(SF_6)_C - (SF_6)_{Br}} \times \left(\frac{PM_{CH_4}}{PM_{SF_6}} \right) \times 1000$$

Onde:

ECH_4 = taxa de emissão de CH₄ entérico em g/dia

ESF_6 = taxa de emissão de SF₆ em mg/dia

$CH_{4(c)}$ = concentração de CH₄ na canga em ppm

$SF_{6(c)}$ = concentração de SF₆ na canga em ppt

$CH_{4(Br)}$ = concentração de CH₄ no ambiente em ppt

$SF_{6(Br)}$ = concentração de SF₆ no ambiente em ppt

PM_{CH_4} = 16 (peso molecular do CH₄)

PM_{SF_6} = 146 (peso molecular do SF₆)

1000 = fator de conversão para expressar a emissão de CH₄ em g/dia

A técnica requer muito trabalho na preparação dos materiais, adaptação dos animais aos aparatos de coleta e análise das amostras (HRISTOV et al., 2015b), mas quando bem executada os resultados podem variar apenas 5 a 10% em comparação com emissões coletadas em câmaras respirométricas (HAMMOND et al., 2016). O posicionamento errado do cabresto nas narinas e boca do animal pode resultar em baixas concentrações dos gases coletados e prejudicar as suas estimativas (BERENDS et al., 2014). Além disso, é preciso cuidado com a taxa de emissão das cápsulas contendo o gás traçador, pois ela pode influenciar a estimativa de emissão de metano nos animais (PINARES-PATIÑO e CLARK, 2008).

Mais animais avaliados com SF₆ são necessários para encontrar diferenças nos tratamentos, devido a maior variabilidade nos resultados com gás traçador em comparação com as câmaras (VLAMING et al., 2007), porém a técnica permite a avaliação de um maior número de animais em seu ambiente natural, como as pastagens (STORM et al., 2012).

Muitos artigos científicos já foram publicados utilizando a técnica do gás traçador SF₆ para a mensuração de metano entérico em ovinos e em bovinos de leite e corte. Nos Gráficos 10 e 11 observa-se os valores de PV e CMS, respectivamente, e emissão de CH₄ entérico de resultados dos trabalhos realizados no Brasil em bovinos de corte. A diferença encontrada entre os trabalhos pode estar associada aos diferentes tratamentos que os animais foram submetidos

no momento das coletas. Na Tabela 1 estão apresentados todos os artigos publicados com bovinos de corte utilizando esta técnica para mensuração do metano no Brasil.

Gráfico 10 – Resultados reportados de emissão de CH₄ entérico e PV dos animais nos artigos científicos brasileiros.

Fonte: Própria autoria.

Gráfico 11 - Resultados reportados de emissão de CH₄ entérico e CMS dos animais nos artigos científicos brasileiros.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 1 - Artigos científicos brasileiros utilizando a técnica do gás traçador SF₆ para mensuração de metano entérico em bovinos de corte (cont.).

Referências	Tratamento	Nº ani	Raças	Peso Vivo (kg)	Metano*		
					CH ₄ GD	CH ₄ CMS	CH ₄ PV
Oliveira et al. (2007)	Silagem sorgo baixo tanino + 1,2% ureia	8	Nelore	215	49,52	14,14	0,230
	40% silagem sorgo baixo tanino + 60% concentrado			215	66,60	11,48	0,310
	Silagem sorgo alto tanino + 1,2% ureia			215	49,30	13,32	0,229
	40% silagem sorgo alto tanino + 60% concentrado			215	70,40	12,14	0,327
Possenti et al. (2008)	Feno (80% coast-cross + 20% leucena)	4	Mestiço	814	138,9	19,03	0,171
	Feno (50% coast-cross + 50% leucena)			814	130,5	17,88	0,160
	Feno (80% coast-cross + 20% leucena) + 10g levedura			814	156,2	21,11	0,192
	Feno (50% coast-cross + 50% leucena) + 10g levedura			814	127,3	16,75	0,156
Balieiro Neto et al. (2009)	Feno braquiária + mineral	4	Mestiça	500	110,1	20,02	0,220
	Feno braquiária + mineral + monensina			500	54,40	17,55	0,109
	Feno braquiária + proteinado			500	86,90	14,25	0,174
	Feno braquiária + proteinado + monensina			500	54,70	10,32	0,109
Hulshof et al. (2012)	Cana-de-açúcar + ureia + 40% conc.	16	Nelore x Guzerá	283	125,0	17,61	0,442
	Cana-de-açúcar + nitrato + 40% conc.			283	85,00	12,88	0,300
Pedreira et al. (2013)	100% volumoso	9	Cruzado	444	125,2	22,76	0,282
	70% volumoso + 30% concentrado			444	149,9	18,97	0,338
	40% volumoso + 60% concentrado			444	140,4	16,14	0,316
Canesin et al. (2014)	<i>Urochloa brizantha</i> + suplemento diário	12	Nelore	383	226,0	28,42	0,590
	<i>Urochloa brizantha</i> + suplemento dias úteis			366	253,3	26,90	0,692
	<i>Urochloa brizantha</i> + suplemento dias alternados			379	252,5	33,37	0,666
Cota et al. (2014)	Confinamento	47	Nelore	356	104,0	37,96	0,292
	Pastagem			371	98,43	35,93	0,265
Fiorentini et al. (2014)	60% silagem milho + 40% conc.	45	Nelore	419	147,0	16,90	0,351
	60% silagem milho + 4,5% óleo palma + 35,5% conc.			419	66,80	15,53	0,159
	60% silagem milho + 4,5% óleo linhaça + 35,5% conc.			419	62,80	8,971	0,150
	60% silagem milho + gordura protegida + 34,9% conc.			419	118,0	15,13	0,282
	60% silagem milho + 25% soja grão + 15% conc.			419	63,90	9,682	0,153
Mercadante et al. (2015)	Baixo consumo alimentar residual	9	Nelore	339	144,0	24,40	0,425
	Alto consumo alimentar residual	14		345	163,0	25,70	0,472
Andrade et al. (2016)	Pasto degradado (capim elefante anão) + 150 kg N/ha	12	Charolês	248	146,0	22,90	0,589
	Pasto degradado (capim elefante anão) + amendoim			252	180,0	25,30	0,714

Artigos científicos brasileiros utilizando a técnica do gás traçador SF₆ para mensuração de metano entérico em bovinos de corte (conclusão).

Carvalho et al. (2016)	Xaraés	20	Nelore	440	113,7	9,887	0,258
	Xaraés + óleo de palma			440	112,6	9,707	0,256
	Xaraés + óleo de linhaça			440	70,18	6,380	0,160
	Xaraés + gordura protegida			440	101,9	8,492	0,232
	Xaraés + grão de soja			440	82,47	6,443	0,187
Demarchi et al. (2016)	<i>Urochloa brizantha</i> no inverno	16	Nelore	318	102,5	17,13	0,323
	<i>Urochloa brizantha</i> na primavera			333	132,0	16,89	0,397
	<i>Urochloa brizantha</i> no verão			411	220,9	30,20	0,538
	<i>Urochloa brizantha</i> no outono			448	159,9	21,65	0,357
Lage et al. (2016)	40% silagem milho	36	Nelore	438	174,0	20,80	0,398
	60% silagem milho			436	173,0	21,20	0,397
	Milho sem glicerina			435	161,0	19,30	0,370
	Glicerina substituindo milho			437	189,0	22,30	0,433
	Glicerina substituindo casca de soja			438	171,0	21,40	0,390
Nascimento et al. (2016)	Feno braquiária com 15 dias	6	Nelore	402	132,6	17,38	0,330
	Feno braquiária com 45 dias			402	138,3	23,41	0,344
	Feno braquiária com 90 dias			402	133,9	20,02	0,333
Frota et al. (2017)	Sistema a pleno sol – período seco	12	Cruzados	199	120,6	24,29	0,616
	Sistema silvopastoril – período seco			186	124,4	18,66	0,678
	Sistema a pleno sol – período chuvoso			278	192,8	24,74	0,697
	Sistema silvopastoril – período chuvoso			254	203,3	26,50	0,803
Rossi et al. (2017)	40% silagem milho com soja moída	36	Nelore	507	119,0	14,32	0,235
	40% silagem milho com soja grão			512	164,0	17,17	0,320
	40% silagem milho com milho (alto amido)			510	141,0	15,23	0,277
	40% silagem milho com casca soja (baixo amido)			509	142,0	16,51	0,279
Pontes et al. (2018)	Lavoura-pecuária + 90 kg N/ha	24	Purunã	283	170,0	.	0,600
	Lavoura-pecuária + 180 kg N/ha			291	166,0	.	0,570
	Lavoura-pecuária-floresta + 90 kg N/ha			280	165,0	.	0,590
	Lavoura-pecuária-floresta + 180 kg N/ha			272	155,0	.	0,570

*CH₄GD: emissão de metano em g por dia; CH₄CMS: emissão de metano em g por kg de consumo de MS; CH₄PV: emissão de metano em g por kg de peso vivo médio.

3.2.2. Cocho automatizado (GreenFeed)

O equipamento GreenFeed, desenvolvido pela empresa C-Lock Inc., Rapid City, South Dakota, USA (ZIMMERMAN e ZIMMERMAN, 2012), foi o primeiro sistema online com geração dos dados em tempo real que tem por finalidade medir quantitativamente os fluxos de CH_4 e CO_2 em massa, segundo a segundo, individualmente, da respiração de animais ruminantes, enquanto eles visitam o cocho atraídos para receber uma porção controlada e ajustada de ração peletizada (Figura 4). O equipamento é comumente utilizado em estruturas de confinamento, porém pode ser utilizado em sistemas de pastagem, basta ter uma fonte de energia, que neste caso, pode ser através da utilização de painéis solares. O uso de cochos automatizados para mensuração de gases está crescendo no mundo por ser uma tecnologia de fácil aplicabilidade, com bons resultados, não necessita da análise em cromatografia, é possível avaliar vários animais utilizando apenas um cocho e pode ser uma tecnologia menos onerosa em comparação da câmara respirométrica e técnica do gás traçador SF_6 (HRISTOV et al., 2015b).

Antes do início do período experimental, é necessário que os animais se adaptem ao equipamento e se acostumem a ir visitá-lo algumas vezes no dia, pois o número de visitas e o tempo no cocho influenciam a acurácia dos resultados (WAGHORN; JONKER; MACDONALD, 2016). A partir do momento que o animal coloca a cabeça dentro do cocho, atraído pela ração “isca”, um leitor de identificação por radiofrequência (radio frequency identification - RFID) o identifica através do brinco da orelha, e o equipamento é ativado por um sensor de posição infravermelho que localiza a cabeça do animal quando este está na posição correta dentro do cocho. Apenas os dados capturados com medidas ininterruptas são considerados válidos para serem incorporados ao banco de dados. Para garantir que a posição da cabeça do animal permaneça de forma correta, porções de ração são fornecidas em intervalos regulares pré-definidos pelo usuário e programados por computador. Os equipamentos ficam dispostos em um local que permita aos animais utilizá-lo a qualquer hora do dia, preferencialmente ao longo das 24 horas. A mensuração dos gases produzidos (massa por unidade de tempo) é obtida através da combinação de um exaustor ou sistema de ventilação, utilizado para puxar o ar emitido pelo animal para um tubo de escape, e sensor de presença que induzem o fluxo de ar passando pela cabeça do animal, e assim permitindo que as taxas contínuas de ar sejam medidas. Uma sub amostra de ar é bombeada para fora do tubo exaustor e passa por sensores infravermelhos não dispersivos (non-dispersive infrared sensors - NDIR) para fazer a medição contínua das concentrações de CH_4 e CO_2 (HRISTOV et al., 2015b). Essa taxa de fluxo de ar é multiplicada pelo aumento da concentração de gás, quando a cabeça do

animal está no cocho, assim o fluxo de emissão é calculado considerando o volume e a concentração do metano na amostra. O equipamento necessita ser calibrado e um filtro de ar é utilizado para remover qualquer material particulado contido na amostra, para evitar danos aos sensores (HRISTOV et al., 2015b).

Figura 4 - Representação do cocho automatizado (GreenFeed) utilizado para mensuração de metano entérico em bovinos.

Fonte: Embrapa Pecuária Sudeste

No Brasil apenas a Embrapa Pecuária Sudeste, a Embrapa Agrosilvipastoril e a Universidade Federal de Viçosa possuem esses equipamentos, adquiridos recentemente, em consequência disso só existem até o momento dois artigos científicos publicados utilizando o GreenFeed para mensuração de metano entérico em bovinos, um com bovinos de corte e outro com bovinos de leite (Tabela 2).

Tabela 2 - Artigos científicos brasileiros utilizando o equipamento GreenFeed para mensuração de metano entérico em bovinos.

Referências	Tratamento	Nº animais	Raças	Peso Vivo (kg)	Metano		
					CH ₄ GD	CH ₄ CMS	CH ₄ PV
Menezes et al. (2016)	Dieta - 10% PB	18	Nelore	397	155,7	16,1	115,2
	Dieta - 12% PB			402	150,2	15,2	104,1
	Dieta - 14% PB			403	170,2	17,6	118,0
Silva et al. (2016)	70% silagem milho + 30% conc.	20	Holandesa x Zebu	266	115,0	12,7	0,432
	50% silagem milho + 50% conc.			282	185,0	12,3	0,656
	70% cana-de-açúcar + 30% conc.			238	165,0	25,8	0,693
	50% cana-de-açúcar + 50% conc.			266	186,0	21,8	0,699

*CH₄GD: emissão de metano em g por dia; CH₄CMS: emissão de metano em g por kg de consumo de MS; CH₄PV: emissão de metano em g por kg de peso vivo médio.

3.3. AÇÕES DE MITIGAÇÃO DO METANO ENTÉRICO

As mudanças climáticas causadas pelas emissões de GEE são uma ameaça para o setor agropecuário, e já afetam a produção animal, a qualidade das pastagens e grãos, a disponibilidade de água, a reprodução animal e até a incidência de doenças e pragas (ROJAS-DOWNING et al., 2017). Essa realidade mostra a importância da busca de estratégias e ações de mitigação dos GEE e a necessidade de pesquisas com esse objetivo. Algumas revisões sobre mitigação de metano entérico foram publicadas (BEAUCHEMIN et al., 2008; BOADI et al., 2004; BUDDLE et al., 2011; COTTLE; NOLAN; WIEDEMANN, 2011; ECKARD; GRAINGER; KLEIN, 2010; GERBER et al., 2013; HERRERO et al., 2016; HRISTOV et al., 2013a, 2013b; KNAPP et al., 2014; MONTES et al., 2013; PATRA, 2012, 2016; PEREIRA et al., 2015; PICKERING et al., 2015) e a maioria dos artigos aborda ações em três frentes: eficiente manejo animal e dos sistemas de produção, manipulação do rúmen (ecossistema ruminal) e manipulação nutricional (Figura 5). As emissões de metano podem ser reduzidas rapidamente, de 20 a 30%, em todos os sistemas produtivos, como pode ser verificado em diversas pesquisas. Para isso, é preciso adotar técnicas regenerativas no manejo da pastagem, na seleção do pasto, e melhorias na reciclagem dos nutrientes e na utilização dos resíduos do gado para a produção de energia, além do aumento da capacidade de sequestro de carbono dos solos agropecuários (FAO, 2017). Os fatores que influenciam diretamente a emissão de metano entérico são a quantidade de alimento ingerido, o tipo de carboidrato na dieta, o processamento do alimento, a adição de lipídeos ou ionóforos na dieta e as alterações na microbiota ruminal, e esses fatores podem ser manipulados com o objetivo de reduzir as emissões (JOHNSON e JOHNSON, 1995). Algumas ações de mitigação, relacionadas com os fatores citados, não tiveram efeitos sobre a emissão de metano ou tiveram efeitos contrários, seja no uso de suplementos ou aditivos na dieta (BENCHAAAR, 2016; GIDLUND et al., 2016), na maior digestibilidade da dieta com o uso de concentrado (SILVA et al., 2016), no nível de consumo (WARNER et al., 2017), no uso de compostos de plantas (BEAUCHEMIN et al., 2007; EBERT et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2007).

Figura 5 - Representação das principais ações de mitigação das emissões de metano entérico.

Fonte: Adaptado de COTTLE; NOLAN; WIEDEMANN (2011) e ECKARD; GRAINGER; KLEIN, (2010).

Quanto à interferência direta no rúmen existem estratégias para diminuir a produção de metano entérico: reduzir a produção de H_2 , proporcionar drenos alternativos para o H_2 já produzidos e reduzir as populações de microrganismos metanogênicos (JOBLIN, 1999; JANSSEN, 2010; PEREIRA et al., 2015), e mais recentemente, a associação entre a microbiota ruminal com emissão de metano, pois parece haver outros microrganismos, como os protozoários ciliados, os fungos anaeróbios, *Succinovibrionaceae* e *Prevotella*, entre outros, associados a baixa e alta produção de metano (TAPIO et al., 2017). Ao manipular a composição nutricional da dieta de ruminantes é possível reduzir a produção de metano entérico, sendo a inclusão de níveis de concentrado na dieta um dos mais estudados (PEDREIRA et al., 2013). Uma alta proporção de concentrado na dieta reduz o pH do rúmen e, consequentemente, afeta a população de protozoários (KUMAR et al., 2013). Além disso, ela também reduz a proporção acetato:propionato diminuindo a quantidade de metano produzida por unidade de consumo de alimentos (BEAUCHEMIN et al., 2008; PEDREIRA et al., 2013; TROY et al., 2015). Com o objetivo de reduzir as emissões de metano, o uso de diferentes estratégias, suplementos e aditivos na formulação das dietas vêm sendo testados e utilizados, entre estes, podemos citar o manejo adequado de pastagens, uso de grãos e alimentos concentrados, processamento e conservação de forragens, uso de leguminosas, taninos e saponinas, óleos e gorduras saturadas e insaturadas, ionóforos, nitrato, leveduras, malato e fumarato, óleos essenciais e extratos vegetais (HRISTOV et al., 2013a).

Além disso devemos considerar o potencial de mitigação das emissões de metano e óxido nitroso através da capacidade de fixação de carbono dos solos tropicais, recuperando as áreas de pastagens degradadas com a utilização de técnicas de manejo adequado e intensivo de pastagens (BERNDT e TOMKINS, 2013; OLIVEIRA, 2015). É importante destacar que toda estratégia de mitigação visa manter ou aumentar a produtividade do sistema, seja pela produção de leite ou de carne, pois assim a intensidade de emissão (kg de CH_4 / kg de produto) será menor. Alguns exemplos de estratégias para reduzir a emissão de metano por quilo de produto são:

- Aumentar o mérito genético dos animais: selecionar animais com melhor CAR (consumo alimentar residual) (HEGARTY et al., 2007; JONES et al., 2011; MERCADANTE et al., 2015), melhorar os índices produtivos (GIDLUND et al., 2015; WARNER et al., 2017) e reprodutivos, reduzindo a idade ao abate, ao primeiro parto e o intervalo entre partos (HRISTOV et al., 2013b), se preocupar com a sanidade animal

(controle de parasitas, doenças e vacinas) buscando o bem-estar animal (HRISTOV et al., 2013b).

- Aumentar o mérito genético das forragens: melhorar o manejo nutricional através da formulação de dietas (PATRA, 2016), utilizar aditivos, como inibidores (HAISAN et al., 2014; HRISTOV et al., 2015a; LOPES, et al., 2016), suplementos (CAETANO et al., 2016; PINARES-PATÍÑO et al., 2016), nitrato (DUTHIE et al., 2018; HULSHOF et al., 2012; TROY et al., 2015) e compostos de plantas (BODAS et al., 2012; ALVES; DALL-ORSOLETTA; RIBEIRO FILHO, 2017), melhorar a conversão de alimentos, melhorar o manejo dos animais e das pastagens (WARNER et al., 2017).
- Manejar adequadamente os dejetos animais (MONTES et al., 2013; CARO; KEBREAB; MITLOEHNER, 2016) e utilizar e garantir água de qualidade na produção de forma eficiente e sustentável (LEGESSE et al., 2018; MURPHY et al., 2018).
- Praticar a agricultura e zootecnia de precisão, utilizando de forma racional e adequada os nutrientes, principalmente o nitrogênio (WARNER et al., 2016), buscar a intensificação sustentável (ALEMU et al., 2017; CARDOSO et al., 2016; OLIVEIRA SILVA et al., 2017), utilizando tecnologias adequadas ao ambiente tropical como o plantio direto, pastagens bem manejadas, sistemas integrados com lavoura, pecuária e floresta (PONTES et al., 2018).
- Planejamento e gerenciamento da atividade pecuária visando a eficiência produtiva dos sistemas (OENEMA; KLEIN; ALFARO, 2014).

A avaliação conjunta das diferentes estratégias para redução das emissões de GEE pela pecuária devem ser estudadas para evitar que possíveis benefícios de uma estratégia sejam afetados ou anulados por outros efeitos negativos (BERNDT, 2010). Por exemplo, utilizar fertilizantes nitrogenados em pastagens pode aumentar a digestibilidade da forragem e reduzir a produção de metano entérico, entretanto aumentará as emissões de N₂O resultantes do uso desses fertilizantes (BERNDT, 2010; WARNER et al., 2016). O uso de fontes de óleos em dietas de ruminantes também pode reduzir a emissão de metano, entretanto reduzirá também a digestão da fração fibrosa, o consumo, desempenho, eficiência alimentar, e rendimento de carcaça (FIORENTINI et al., 2014), além do aumento das emissões pela produção de dejetos (CARO; KEBREAB; MITLOEHNER, 2016). A avaliação de todo o sistema de produção juntamente com a análise do ciclo de vida do produto permitem uma estimativa mais acurada

do balanço dos GEE e a aplicação de uma ação correta para a mitigação dos mesmos (BERNDT, 2010).

3.3.1. Melhoramento genético

O melhoramento genético animal pode contribuir de forma direta e/ou indireta para a redução da emissão de metano entérico, principalmente reduzir a intensidade de emissão (PRYCE; BELL, 2017). A seleção direta ocorre quando podemos identificar diferenças entre a emissão de metano ou a eficiência alimentar dos animais, hoje apenas centros de pesquisa conseguem obter resultados desta maneira devido ao alto investimento para mensurar diretamente no animal. A partir do momento em que um animal é identificado com características de menor emissão de metano, poderia ser selecionado para “carregá-las” nas futuras gerações, porém deve se tomar cuidado com eventuais efeitos negativos na produtividade (DONOGUE et al., 2016). A seleção através do consumo alimentar residual tem a capacidade de identificar animais que apresentem menor consumo de MS que o esperado em relação ao seu peso vivo e ganho em peso, além disso o CAR tem correlação genética alta com variáveis de desempenho (MERCADANTE et al., 2015) e emissão de metano (HEGARTY et al., 2007; JONES et al., 2011).

Ao longo da evolução os rebanhos bovinos acumularam grande variação genética devido a seleção natural para a adaptação em diversos ambientes e pela seleção dirigida pelo homem com objetivos distintos (por exemplo: tamanho, cor, rendimento cárneo, produção de leite, acabamento de gordura) levando a uma diversidade significativa entre as raças bovinas (CUNDIFF, 2005). O critério de seleção dos animais de determinados grupos genéticos ou raças com o objetivo de redução da emissão de metano ainda é recente, e na grande maioria é associado com o aumento da produtividade ou ao uso eficiente de alimentos e, consequentemente menor produção de gás por unidade de matéria seca consumida (BUDDLE et al., 2011; WALL; SIMM; MORAN, 2010). Porém a ciência vem trabalhando e buscando métodos mais acurados, como a descoberta de marcadores genéticos ou genes que são responsáveis ou explicam a produção de metano nos animais (ROEHE et al., 2016).

Não há evidências de que grupos genéticos bovinos podem apresentar diferenças na emissão de metano, porém características da produção de metano podem ser hereditárias se elas forem levadas em consideração no momento da seleção genética (DONOGHUE et al., 2016). Em estudo com vacas em lactação (Holandesa e Jersey) recebendo a mesma dieta foi encontrada diferença na população de metanogênicas no rúmen, essa diferença poderia auxiliar em

pesquisas que visam estimar o potencial de síntese de metano de determinado grupo de arqueias no rúmen (KING et al., 2011). Bovinos de leite e corte foram observados sob regime alimentar restrito e *ad libitum*, e não foi encontrada diferença na produção de metano entre eles (BOADI; WITTENBERG, 2002), sendo assim, outro estudo mostrou que tanto a emissão de metano de bovinos de corte quanto de leite pode ser predita por equações muito similares (ELLIS et al., 2007). A hipótese de existir uma significativa correlação entre genética e produção de metano também não foi confirmada por Münger e Kreuzer (2008) que avaliaram a emissão de três raças leiteiras (Holandesa, Simental e Jersey), porém Garnsworthy et al. (2011) encontraram uma variação entre a emissão de vacas de leite, e concluíram que essa diferença está relacionada às mudanças no requerimento de energia metabolizável (peso vivo, produção de leite, gestação e lactação). Teoricamente raças bovinas distintas apresentariam diferentes emissões de metano devido a microbiota ruminal, salivação, mastigação, taxas de passagem do rúmen, comportamentos ingestivos e nos níveis de seleção de ingredientes das dietas, porém esta diferença ainda não está quantificada, devido aos poucos trabalhos existentes que comparam grupos genéticos para avaliação da emissão de metano entérico.

3.3.2. Manejo de pastagem

A base da alimentação de bovinos no Brasil é a pastagem, e uma importante característica que afeta a produção de metano entérico é a qualidade da forragem, principalmente a quantidade dos nutrientes e a digestibilidade (HRISTOV et al., 2013a). A busca por qualidade da forragem orienta para um manejo correto do pasto através da intensificação com o uso de tecnologias disponíveis. Segundo Soussana e Lemaire (2014) a recuperação de pastos degradados, o uso de forrageiras gramíneas consorciadas com leguminosas, a integração lavoura-pecuária e a diversificação no uso das pastagens são opções de mitigação da emissão de GEE. A inclusão de leguminosas na dieta reduz a energia perdida na forma de CH_4 (BEAUCHEMIN et al., 2008; PIÑEIRO-VÁZQUEZ et al., 2017), além disso a intensificação no uso das pastagens garante um melhor desempenho dos animais, e estes chegarão ao peso ideal de abate mais novos ou produzirão mais carne, diminuindo a intensidade de emissão do sistema de produção (DERAMUS et al., 2003; ECKARD; GRAINGER; KLEIN, 2010). Além da redução das emissões de metano de forma indireta, as vantagens da intensificação das pastagens estão na uniformização e melhor controle do pasto, com consequente aumento da taxa de lotação e da produção animal por hectare (DERAMUS et al., 2003), porém é preciso cuidado com o uso excessivo de fertilizantes para evitar o aumento da emissão de N_2O (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014; WARNER et al., 2015), e o aumento

excessivo da taxa de lotação animal (BEAUCHEMIN et al., 2008). A intensificação dos sistemas de produção diminui as emissões de metano, porém aumentam as emissões de N_2O e CO_2 (MAZZETTO et al., 2015), por isso deve haver um equilíbrio na aplicação de tecnologias que mitigam os GEEs. Segundo Herrero et al. (2016) uma solução para redução de GEEs seria a diminuição da produção pecuária, porém isso teria impactos negativos no setor econômico, principalmente na saúde e segurança alimentar global.

Nos sistemas canadenses de produção de vaca e bezerro, a melhoria da eficiência no manejo pode reduzir em até 31% a intensidade média das emissões (ALEMU et al., 2017). A simulação de cenários brasileiros de produção de carne, mostra que sistemas intensificados poderiam reduzir em até 50% a emissão de GEE comparados com sistemas extensivos, além de aliviar a pressão sobre áreas de florestas e pastagens (CARDOSO et al., 2016; MAZZETTO et al., 2015). Além disso, o manejo correto das pastagens tropicais auxilia na maior capacidade de sequestro de carbono dos solos (OLIVEIRA SILVA et al., 2017), mas ainda são poucos os trabalhos desenvolvidos, e com isso, faltam informações sobre emissão de metano entérico em pastagens tropicais com sistemas de produção distintos (CARDOSO et al., 2016).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. LOCAL

Ambos experimentos foram executados na Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos – SP, região central do Estado de São Paulo, a 21° 57' 33.32" S 47° 50' 33.28" W, com altitude de 856 m, nos anos 2012, 2013, 2014 e 2015 para os animais avaliados em sistema de pastagem e nos anos 2014 e 2015 para os animais em confinamento.

4.2. EXPERIMENTO 1 – PASTAGEM

4.2.1. Animais

Os animais utilizados no experimento foram manejados de acordo com as Diretrizes do Comitê de Ética no Uso dos Animais - CEUA (n° 05/2016 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, Brasil). No início dos períodos experimentais os animais oriundos do rebanho da Embrapa Pecuária Sudeste foram selecionados dentro de um grupo homogêneo em relação ao peso corporal, idade e composição genética, sendo aleatoriamente distribuídos nos tratamentos mediante sorteio. O período de avaliação da primeira safra foi de setembro de 2012 a agosto de 2013, e da segunda safra foi de setembro de 2013 a setembro de 2014. Os animais da primeira safra foram castrados através de castração convencional antes de entrarem no experimento, já os animais da segunda safra foram castrados através da castração imunológica temporária (Bopriva) com aplicação de duas doses, 6 e 3 meses antes do abate. Foram utilizados 24 bovinos da raça Nelore em cada safra de avaliação, com $21,8 \pm 0,55$ e $13,1 \pm 0,81$ meses de idade e peso corporal inicial de 410 ± 32 kg e 251 ± 30 kg, para a safra 1 e safra 2, respectivamente. Os animais foram mantidos exclusivamente a pasto, com suplementação mineral, da desmama ao abate.

4.2.2. Tratamentos: sistemas de produção a pasto

Os tratamentos foram diferentes tipos de pastagem, cada um com duas repetições de área: pastagem sob manejo intensivo irrigado com alta lotação (IAL) e pastagem sob manejo intensivo de sequeiro com alta lotação (SAL), pastagem em recuperação sob manejo de sequeiro com lotação animal moderada (SML) e pastagem degradada com baixa lotação animal (DEG). As pastagens dos sistemas IAL e SAL foram estabelecidas em 2002 com *Megathyrus* (*Panicum*) *maximum* Jacques (cv. Tanzânia) e foram manejadas sob pastejo rotacionado. Já as

pastagens dos tratamentos SML e DEG foram estabelecidas em 1996 com *Urochloa (Brachiaria) brizantha* (Hochst ex A. Rich) Stapf (cv. Marandu) mas estavam infestadas com *Urochloa (Brachiaria) decumbens* Stapf (cv. Basilisk). A partir de 2011, os pastos do sistema SML passaram por um processo de recuperação por meio de aplicação superficial de calcário e correção geral da fertilidade. O sistema DEG foi manejado sob pastejo contínuo e o sistema SML sob pastejo rotacionado.

Cada área do tratamento irrigado de alta lotação e do tratamento sequeiro de alta lotação possuía 12 piquetes com área total de 1,75 hectares e manejo em sistema rotacionado dos animais (3 dias de ocupação x 33 dias de "descanso"). Na IAL foram feitas 5 adubações de verão com 80 kg de N-ureia/ha e 5 adubações na época seca de 40 kg de N-ureia/ha (totalizando 600 kg de N/ha), e na SAL foram realizadas 5 adubações de verão de 80 kg de N-ureia/ha (total de 400 kg de N/ha). As áreas do tratamento sequeiro de lotação animal moderada (3,3 hectares cada) possuíam 6 piquetes com manejo em lotação rotacionada dos animais (6 x 30 dias). No SML foram realizadas 5 adubações de verão de 40 kg de N-ureia/ha (total de 200 kg de N/ha). Cada área do tratamento degradado possuía 1 piquete (3,3 hectares) com manejo em lotação contínua dos animais, não foi feita nenhuma prática de correção e adubação neste sistema. Todos os pastos (exceto o DEG) foram corrigidos e fertilizados com superfosfato e cloreto de potássio para atingir 20 mg dm⁻³ de P e 4% K na CTC – capacidade de troca catiônica do solo.

No sistema IAL foi feita sobressemeadura com aveia-preta *Avena strigosa* (60 kg/ha de SPV) e azevém *Lolium multiflorum* (30 kg/ha de SPV) em 01/06/2012 e em 22/04/2013, conforme Oliveira et al. (2005). Esta sobressemeadura foi realizada na estação seca (inverno) com o objetivo de aumentar a disponibilidade de forragem para os animais neste período crítico em que as gramíneas se desenvolvem menos.

O manejo das pastagens foi com lotação variável “put and take” (MOTT; LUCAS, 1952), adotando a mesma oferta de forragem, com o uso de animais "reguladores" para todos os tratamentos, exceto o sistema degradado. O suplemento mineral comercial (mínimo de 120 g/kg de Ca; 88 g/kg de P e 5 g/kg de Mg) foi fornecido *ad libitum* em todos os tratamentos. Na estação de chuva a composição do suplemento mineral era de 13% P; 21,4% Ca; 2,3% Mg; 4% S; 0,1% Zn; 0,35% Cu; 17% Mn; 0,03% Co; 0,03% I; 0,003% Se; 0,13% F, e na estação seca foi fornecido um suplemento proteinado com 1,2% P; 8% Ca; 3,5% Na; 0,2% Mg; 1,5% S; 0,064% Zn; 0,017% Cu; 0,013% Mn; 0,0010% Co; 0,012% I; 0,0003% Se; 0,02% F; 40% PB.

4.2.3. Produção, qualidade e consumo da forragem

A produção anual de forragem (kg/ha) foi calculada pela soma dos acúmulos de

forragem por ciclo de pastejo do ano avaliado. Para a caracterização da qualidade bromatológica foram utilizadas amostras de forragem coletadas nos ciclos em que houve a avaliação da emissão de metano. Nos sistemas de pastejo rotacionado (IAL, SAL e SML), em cada uma das áreas, a forragem foi amostrada em pré-pastejo em três piquetes de cada área (3 amostras/área), sendo coletadas quatro sub-amostras por piquete de forma aleatória pelo método direto com lançamento do quadrado de 0,25 m² para as pastagens de *Urochloa* e quadrado de 1,0 m² para as pastagens com *Panicum*, com corte da forrageira ao nível de 30 cm do solo para os sistemas IAL e SAL (*P. maximum*) e 15 cm do solo para o sistema SML (*U. brizantha*). No sistema DEG (*U. decumbens*), por adotar pastejo contínuo, a amostragem foi realizada dentro das gaiolas de exclusão (0,5m x 0,5m x 0,7m), que tinha a função de vedar o acesso dos animais no ponto amostral durante o período de crescimento da forragem, sendo também coletadas três amostras por área.

As quatro sub-amostras coletadas foram secas em estufa de ventilação forçada a 60 ± 5°C por 72 horas, pesadas, moídas e homogeneizadas, sendo obtida uma amostra composta por área (matéria seca parcial). Dois métodos de análise foram utilizados, um para pastagens de *Urochloa* e outro para pastagens de *Panicum*.

Após a secagem das amostras, foram realizadas as análises de *U. decumbens* e *U. brizantha* para determinação dos teores de proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina (LIG), e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIV) por espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) (Tabelas 3 e 4). Os espectros foram obtidos utilizando um espectrômetro de infravermelho próximo com transformada de Fourier com interferômetro de polarização, marca BÜCHI modelo NIRFlex N-500. Para a predição da composição química foi empregado um modelo de calibração desenvolvido e validado na Embrapa Pecuária Sudeste especificamente para amostras de espécies e cultivares de *Urochloa spp.* Para a determinação da matéria seca definitiva, as amostras foram secas por 24 horas em estufa a 105°C, com o objetivo de calcular a matéria seca total (MS) considerando as duas matérias secas (parcial e definitiva).

Após a secagem a 65°C das amostras de *P. maximum* foram realizadas análises bromatológicas para determinação da MS definitiva (Method 934.01; AOAC, 1990), PB (Method 920.87; AOAC, 1990), MM (Method 923.03; AOAC, 1990), EE (Method 920,85; AOAC, 1990), FDN, FDA e LIG conforme Goering e Van Soest (1970), e DIV da matéria orgânica modificada por Moore e Mott (1974) (Tabelas 3 e 4). As análises de energia bruta (EB), em MJ/kg, foram realizadas com a utilização de bomba calorimétrica.

Tabela 3 - Análise bromatológica da forragem nos sistemas de produção avaliadas na primeira safra.

Sistemas ¹	Estação	Análise Bromatológica ²									
		MS	MM	PB	FDA	FDN	Lig	DIV	EE	EB	PMS
		%	%	%	%	%	%	%	%	MJ/kg	kg/ha
IAL	Primavera	20,7	9,01	13,2	36,1	68,0	4,94	55,0	2,88	18,3	5348
	Verão	20,1	11,1	12,0	39,0	66,3	3,83	58,9	2,26	16,8	7661
	Outono	17,5	9,95	12,4	37,8	67,9	5,62	59,8	2,19	16,5	2094
	Inverno	19,4	10,8	16,2	33,1	58,7	5,56	60,3	3,76	17,2	1120
SAL	Primavera	31,7	8,95	10,9	38,0	71,0	4,06	53,4	2,82	16,9	3504
	Verão	21,9	10,4	11,5	34,0	70,5	5,03	56,7	2,49	16,9	6143
	Outono	22,4	10,4	11,9	36,4	66,0	5,38	49,4	2,17	17,1	2246
	Inverno	21,4	11,6	13,9	37,0	66,2	5,35	57,4	2,81	16,9	901,2
SML	Primavera	25,6	9,36	10,4	36,8	68,3	4,38	59,2	2,41	17,9	1734
	Verão	20,1	10,3	13,9	37,3	62,6	4,00	64,8	2,24	17,1	2942
	Outono	24,0	9,66	14,4	36,2	61,9	4,00	63,9	2,28	17,6	649,5
	Inverno	21,5	10,3	13,6	35,6	64,8	4,03	66,7	2,36	18,2	1253
DEG	Primavera	39,0	8,90	7,43	42,0	71,9	5,66	50,2	2,20	17,1	2055
	Verão	33,1	9,80	10,9	37,3	69,6	4,87	64,8	3,06	18,2	1859
	Outono	29,5	8,72	10,5	37,8	68,8	3,52	61,8	2,33	17,9	1325
	Inverno	28,8	8,72	8,92	41,2	71,4	5,70	48,7	2,11	16,9	683,0

¹IAL: pasto irrigado com alta taxa de lotação; SAL: pasto de sequeiro de alta taxa de lotação; SML: pasto de sequeiro de moderada taxa de lotação; DEG: pasto degradado.

²MS: matéria seca total; Valores em base seca a 105°C: MM: matéria mineral, PB: proteína bruta, FDA: fibra em detergente ácido, FDN: fibra em detergente neutro, Lig: lignina, DIV: digestibilidade in vitro, EE: extrato etéreo, EB: energia bruta, PMS: produção total de MS.

Tabela 4 - Análise bromatológica da forragem nos sistemas de produção avaliadas na segunda safra.

Sistemas ¹	Estação	Análise Bromatológica ²									
		MS	MM	PB	FDA	FDN	Lig	DIV	EE	EB	PMS
		%	%	%	%	%	%	%	%	MJ/kg	kg/ha
IAL	Primavera	20,5	9,31	16,5	36,5	70,0	9,85	62,7	2,77	17,7	4894
	Verão	17,8	9,47	14,5	38,2	70,0	7,16	64,2	2,93	17,7	6577
	Outono	16,4	9,70	14,1	39,5	71,7	8,65	66,5	2,62	17,1	2740
	Inverno	22,4	12,1	15,5	33,9	58,5	5,74	57,4	0,75	17,3	1776
SAL	Primavera	23,2	9,46	11,6	38,7	68,3	7,70	60,9	3,20	17,0	3550
	Verão	23,0	8,99	12,7	38,4	68,8	8,29	61,9	2,91	17,2	3972
	Outono	23,5	8,53	14,4	38,1	72,7	7,70	64,2	2,94	17,3	2161
	Inverno	37,0	9,62	7,66	44,5	67,1	5,55	49,4	0,87	16,1	1445
SML	Primavera	21,6	9,43	11,1	34,2	68,4	4,00	65,6	2,85	18,0	2526
	Verão	26,2	8,45	9,70	39,1	69,5	5,70	55,5	2,26	17,9	3176
	Outono	22,7	9,15	11,9	36,1	66,3	4,00	64,9	2,18	18,9	900,4
	Inverno	40,8	7,32	5,90	44,3	68,0	6,90	40,0	1,45	18,2	359,2
DEG	Primavera	20,6	9,58	11,0	38,3	67,7	5,65	57,7	2,74	17,9	720,1
	Verão	34,4	7,38	8,90	40,3	73,7	5,71	55,8	2,25	18,3	1121
	Outono	24,2	8,25	8,75	39,5	72,5	4,95	58,9	2,23	18,3	1372
	Inverno	44,0	7,97	5,87	45,1	68,5	7,10	38,1	2,08	17,7	830,3

¹IAL: pasto irrigado com alta taxa de lotação; SAL: pasto de sequeiro de alta taxa de lotação; SML: pasto de sequeiro de moderada taxa de lotação; DEG: pasto degradado.

²MS: matéria seca total; Valores em base seca a 105°C: MM: matéria mineral, PB: proteína bruta, FDA: fibra em detergente ácido, FDN: fibra em detergente neutro, Lig: lignina, DIV: digestibilidade in vitro, EE: extrato etéreo, EB: energia bruta, PMS: produção total de MS.

Para o cálculo da estimativa do consumo em kg/dia (Tabela 5) foi utilizado a seguinte equação proposta por Azevêdo et al. (2010), com $R^2 = 0,758$, desenvolvida para bovinos de corte em sistemas de produção brasileiros. Para a validação desta equação foram utilizadas em uma meta-análise 561 observações a partir de 27 teses e/ou dissertações desenvolvidas pelas Universidades Federal de Viçosa e São Paulo (AZEVEDO et al., 2016):

$$\text{CMS} = -2,7878 + 0,08789 * \text{PVMédio}^{0,75} + 5,0487 * \text{GPD} - 1,6835 * \text{GPD}^2$$

Onde:

PVMédio = peso vivo médio

GPD = ganho de peso médio diário

Tabela 5 - Consumo de forragem, em kg de matéria seca por dia (kg/dia), estimado por safra, por estação e por sistema de produção a pasto.

Safra	Tratamentos ¹	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Média ± EPM
1	IAL	8,066	7,919	9,345	9,950	8,820±0,22
	SAL	7,370	7,696	8,602	9,111	8,195±0,17
	SML	7,378	7,896	8,627	9,632	8,383±0,24
	DEG	7,104	7,511	8,096	7,154	7,466±0,19
Média ± EPM		7,48±0,14	7,76±0,13	8,67±0,15	8,96±0,29	
2	IAL	5,586	6,022	6,732	7,768	6,527±0,21
	SAL	5,786	7,370	7,666	6,531	6,838±0,21
	SML	6,127	6,467	7,797	7,371	6,940±0,17
	DEG	4,651	5,695	6,683	5,082	5,528±0,19
Média ± EPM		5,54±0,18	6,39±0,17	7,22±0,15	6,69±0,24	

¹IAL: pasto irrigado com alta taxa de lotação; SAL: pasto de sequeiro de alta taxa de lotação; SML: pasto de sequeiro de moderada taxa de lotação; DEG: pasto degradado. EPM: erro padrão médio.

4.2.4. Desempenho animal e abate (produção de carcaça)

Foi disponibilizada a mesma oferta de forragem para todos os tratamentos (método “put and take”) para seis animais “testers” (traçadores) por tratamento, sendo utilizados três em cada repetição de área das pastagens. A pesagem dos animais nos sistemas rotacionados foi realizada a cada ciclo de pastejo sem jejum (aproximadamente 30 dias), sempre no mesmo horário. Na lotação contínua a pesagem foi a cada 28 a 30 dias, considerando-se as mesmas restrições adotadas para a lotação rotacionada. No início e no fim do período experimental, total de 337 dias para a safra 1 e 361 dias para a safra 2, as pesagens (PV) foram feitas com jejum hídrico e alimentar (16 horas). Foi calculado o ganho médio diário de peso (GPD) dos animais em cada estação do ano, dividindo o ganho total pela duração em dias de cada período. Também foram calculados a conversão alimentar (CA), dividindo o consumo diário pelo ganho diário, a eficiência alimentar bruta (EA), dividindo o ganho diário pelo consumo diário, e o peso

metabólico (PMet). O ganho de peso médio por hectare (GPHa) e o ganho de carcaça por hectare (CarcHa) dos animais nos diferentes sistemas de produção também foram calculados considerando o período avaliado. A taxa de lotação em unidade animal (TLUA) foi calculada dividindo o peso total do lote pela unidade animal (UA) e pela área do piquete em hectares, sendo uma UA equivalente a um bovino com 450 kg. A taxa de lotação em animal equivalente (TLAE) foi obtida dividindo o peso total do lote pelo animal equivalente (AE) e pela área do piquete em hectares, sendo um AE equivalente à média de peso dos animais do lote.

Os animais foram abatidos com média de 32,9 e 25,5 meses de idade para a safra 1 e 2, respectivamente. O abate foi realizado em frigorífico comercial, seguindo procedimentos normais do Serviço de Inspeção Estadual Brasileiro. O peso médio vivo em jejum (PFJ) dos animais, antes do abate, foi de $500 \pm 74,1$ kg. Logo após o abate, o peso de carcaça quente (PCQ) foi registrado, e foi calculado o rendimento de carcaça e do ganho. Para o cálculo do rendimento de carcaça (RendC) foi dividido o PCQ pelo PFJ multiplicado por 100. O rendimento do ganho (RendG) foi calculado para verificar quanto do ganho de peso estava sendo em carcaça, então dividiu-se o ganho em carcaça pelo ganho em peso corporal multiplicando por 100, foi considerado como 50% o rendimento de carcaça no início do experimento. Assim foi possível calcular a intensidade de emissão de metano em kg CO₂-eq. por kg carc. O cálculo foi o seguinte:

$$IE = \frac{(x \cdot 21)}{y},$$

Onde:

- IE é a Intensidade de Emissão (kg CO₂eq./ kg carc.)
- x é a emissão total de metano em kg durante o período experimental.
- 21 é o Potencial de Aquecimento Global do CH₄ em equivalente CO₂ (IPCC, 1990). O GWP de 21 para o metano foi escolhido pois foi o valor utilizado nos inventários nacionais brasileiros até 2018, seguindo orientação da UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change).
- y é o ganho total de peso em carcaça em kg durante o período experimental.

4.2.5. Mensuração do metano entérico: técnica do gás traçador SF₆

Para a colheita de metano foi utilizada a metodologia do gás traçador hexafluoreto de

enxofre (SF₆) seguindo recomendações de Primavesi et al. (2004) e Berndt et al. (2014). As cápsulas (tubo de permeação) foram preparadas e calibradas considerando o período de duração do experimento. Assim as cápsulas selecionadas foram fornecidas aos animais e depositadas no rúmen com uma emissão média de SF₆ constante de $2,396 \pm 0,06$ mg/dia na primeira safra e uma emissão constante de $1,753 \pm 0,19$ mg/dia na segunda.

Os animais foram adaptados aos aparatos de amostragem (cangas e cabrestos) por um período mínimo de 15 dias anterior à coleta. Os animais foram retirados de seus piquetes diariamente entre 7:30 e 8:00 horas, e conduzidos ao curral de manejo onde as amostras foram coletadas. As coletas de metano foram realizadas por 5 dias consecutivos, com troca das cangas a cada 24 horas. O gás expelido pela boca e narinas dos animais foi aspirado por um tubo capilar alojado em cabresto e conectado a um depósito de PVC (coletor) submetido a vácuo, que fica apoiado no pescoço do animal. Cada coletor teve as pressões (inicial e final) registradas para verificar a qualidade da coleta de dados de campo. Tubos coletores com pressões finais acima ou abaixo dos valores esperados foram substituídos imediatamente com repetição de mais um dia de coleta nos respectivos animais. Após cada período de coleta as cangas foram encaminhadas para a análise cromatográfica, onde o conteúdo foi diluído com nitrogênio puro para a determinação das concentrações dos gases SF₆ e CH₄.

Durante todo o período de coleta foram mantidas cangas para coleta do "branco" em condições ambientais semelhantes a que os animais estavam submetidos. As concentrações de CH₄ e SF₆ encontradas nos "brancos", através da cromatografia, foram descontadas das concentrações encontradas nas cangas dos animais.

As coletas foram realizadas quatro vezes ao ano, em meses representativos da primavera, verão, outono e inverno. Os períodos de avaliação foram: primavera (01/10/2012 a 07/10/2012), verão (21/01/2013 a 27/01/2013), outono (22/04/2013 a 28/04/2013), inverno (29/07/2013 a 04/08/2013) para os animais do primeiro ano, e 02/12/2013 a 08/12/2013 (primavera), 02/04/2014 a 08/04/2014 (verão), 09/06/2014 a 15/06/2014 (outono) e 11/08/2014 a 17/08/2014 (inverno) para os animais do segundo ano.

4.2.5.1. Cromatografia gasosa

A análise do CH₄ e SF₆ foi feita em um cromatógrafo a gás GC-2014 "Greenhouse" (Shimadzu). As amostras contidas nas "cangas", após preparo utilizando-se a diluição com N₂ ultra-puro (grau 5.0), foram transferidas para "loop" de amostragem com volume 100µL utilizando-se sistema de engate rápido marca Swagelock e válvula do tipo esfera. Esse cromatógrafo está equipado com os detectores FID (ionização de chama) e ECD (captura de

elétrons). Os limites de detecção informados pelo fabricante para o FID e ECD na configuração utilizada são 3pgC/s (dodecano) e 0,1 pg/s (γ -BHC) respectivamente. As faixas dinâmicas lineares para o FID e ECD são 10^7 e 10^4 respectivamente. Foi feita a calibração por padronização externa a partir de misturas padrão certificadas (Praxair) segundo RBC-INMETRO n°M-40370/12 para os analitos CH_4 , SF_6 , N_2O e CO_2 . As condições cromatográficas foram: temperatura das colunas 80°C, temperatura do injetor 100°C, temperatura do ECD 325°C, temperatura do FID 250°C e temperatura das duas válvulas de 4 vias 80°C. As vazões do gás de arraste (N_2 5.0) foram: nas colunas 24,57 mL/min, purga de 0,5mL/min e total 25,1 mL/min. Foi utilizada ainda a mistura gasosa 10% (v/v) de CH_4 em argônio balanço a uma vazão de 0,1 mL/min com o intuito de se obter uma melhora na relação sinal/ruído do ECD. As colunas utilizadas foram: 1,0m HayeSep T responsável pelo *backflush* (etapa que retira umidade das amostras), 4m H-D 80/100 (coluna analítica), duas colunas 1,5m P-N e uma coluna 0,5m S-Q que também foram utilizadas para a conexão das válvulas aos detectores e metanador. A determinação das concentrações de CH_4 e SF_6 , coletadas nas cangas foi realizada, respectivamente, com detector de ionização de chama e detector de captura de elétrons. As cromatografias foram realizadas imediatamente ao final dos períodos de coleta de campo, no laboratório da Embrapa Pecuária Sudeste, possibilitando o reuso das cangas no período de coleta subsequente. As curvas de calibração foram estabelecidas utilizando os gases padrões certificados pela empresa “White Martins” (São Carlos, SP) com concentrações de CH_4 em ppm (5,18%, 11,1% e 22,9%) e concentrações de SF_6 em ppt (34, 100 e 1009).

4.2.5.2. Variáveis relacionadas à emissão de metano entérico

Através da análise de cromatografia foram determinadas as emissões de metano dos animais em gramas por dia (CH_4GD). A partir desses valores foram calculadas: a emissão de metano em relação ao peso vivo médio (CH_4PVM), ao peso metabólico (CH_4PMet), ao ganho de peso diário (CH_4GPD), ao consumo de matéria seca (CH_4DMI) e ao consumo de matéria digestível (CH_4CMD). Também foram calculadas as perdas energéticas de cada tratamento pela emissão do metano entérico, como a perda de energia em megacalorias por animal por dia (CH_4Mcal), e a porcentagem de energia bruta ingerida perdida na forma de metano (“Yield Methane” - YM).

Considerando os diferentes níveis de intensificação dos quatro sistemas de produção foram calculadas as emissões de metano por hectare por ano (CH_4Ha), por produtividade animal, ou seja, ganho de peso por hectare (CH_4GPHa), pela taxa de lotação (CH_4UA), e as

intensidades de emissão em g de metano por g de carcaça calculado pelo RendC ($\text{CH}_4\text{CarcRCHa}$) e pelo RendG ($\text{CH}_4\text{CarcRGHa}$) e em kg de CO_2 -eq. por kg carc. calculado pelo RendC (IERC) e pelo RendG (IERG).

4.2.6. Análises estatísticas

Os dados foram analisados utilizando o programa Statistical Analysis System (SAS 9.3 Inst. Inc., Cary, NC). Primeiramente os dados foram submetidos ao PROC UNIVARIATE, teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk) para a verificação de valores discrepantes (“outliers”) com 5% de significância. Posteriormente os dados foram analisados utilizando o PROC MIXED com medidas repetidas no tempo. O modelo estatístico foi selecionado baseado no menor valor do AICC (Akaike corrigido) conforme Wang e Goonewardene (2004). O modelo considerou como efeitos fixos: tratamento (IAL, SAL, SML e DEG), estação (primavera, verão, outono e inverno) e a interação entre tratamento e estação, e como efeitos aleatórios: bloco (repetição de área) e safra. O peso inicial foi utilizado como uma covariável. Para os dados bromatológicos também foram retirados os valores discrepantes, e analisados utilizando o procedimento MIXED do SAS. O modelo incluiu tratamento, estação e a interação entre tratamento e estação como efeitos fixos, e a safra como efeito aleatório. Em todos os testes realizados foram considerados o nível de significância de 5%, e as médias foram comparadas utilizando o teste T (análises bromatológicas e variáveis de desempenho e metano) e utilizando o teste Tukey (variáveis representadas por hectare). Foram estimadas correlações de *Pearson* entre a CH_4GD e as variáveis PVM, GPD e CMS.

4.3. EXPERIMENTO 2 – CONFINAMENTO

4.3.1. Animais e manejo

Os animais utilizados neste experimento foram manejados de acordo com os princípios éticos e de experimentação animal da Embrapa Pecuária Sudeste, e aprovado pela referida instituição (PRT 02/2015). O período experimental compreendeu a fase de terminação dos animais em confinamento (aproximadamente três meses) em dois anos consecutivos, onde foram mantidos com acesso *ad libitum* a água e alimentos.

Durante a fase de cria dos bezerros, as vacas foram mantidas em pastagens adubadas de *Urochloa brizantha* cv. Marandu em sistema de pastejo rotacionado nas águas e recebendo suplementação volumosa na seca. Após a desmama, os bezerros foram mantidos em piquetes de *Panicum maximum* cv. Mombaça, suplementado com silagem de milho (5 a 8 kg/animal/dia) e 1,0 kg de concentrado, suficiente para ganho diário de peso vivo de aproximadamente 0,7 kg,

entre a desmama aos 8 meses de idade (junho a agosto) até o final do período seco (outubro/novembro), em grupos separados por sexo. Após esse período de suplementação durante a seca, os bezerros foram castrados (método convencional) e mantidos por todo o período das águas no mesmo piquete de capim Mombaça, recebendo suplementação mineral (mínimo de 120 g/kg de Ca; 88 g/kg de P e 5 g/kg de Mg). Os 63 animais machos cruzados foram recriados em pastagem e entraram no confinamento com média de $648 \pm 67,8$ dias de idade e $379 \pm 41,6$ kg de peso vivo. Os animais foram confinados em 4 baias coletivas de chão de terra batida de aproximadamente 400 m² cada, providas de bebedouro e de cochos de alimentação de mensuração automática (GrowSafe) com uma área concretada de 15 m² em frente ao cocho, separados segundo o grupo genético do pai e da mãe. A duração do período de confinamento de cada animal foi variável para permitir acabamento de carcaça (mínimo de 5 mm de espessura de gordura subcutânea no lombo) semelhante entre todos, avaliados por ultrassonografia.

4.3.2. Tratamento: grupos genéticos

Os animais utilizados eram filhos de fêmeas da raça Nelore e cruzadas $\frac{1}{2}$ Angus + $\frac{1}{2}$ Nelore e $\frac{1}{2}$ Senepol + $\frac{1}{2}$ Nelore, produzidos em cruzamento terminal com cinco raças de touros: Canchim ($\frac{5}{8}$ Charolês e $\frac{3}{8}$ Zebu), Brangus ($\frac{5}{8}$ Angus e $\frac{3}{8}$ Brahman), Bonsmara ($\frac{5}{8}$ Africaner, $\frac{3}{16}$ Hereford e $\frac{3}{16}$ Shorthorn), Charolesa e Angus, como mostrado na Tabela 6:

Tabela 6 - Número de animais avaliados separados por grupos genéticos.

Grupo Genético da Vaca ¹	Raça do Touro ²					Total
	CAN	ANG	CHA	BONS	BRA	
NE	3	5	3	1	3	15
AN	7	3	4	3	4	21
SN	11	9	5	1	1	27
Total	21	17	12	5	8	63

¹NE: Nelore, AN: $\frac{1}{2}$ Angus + $\frac{1}{2}$ Nelore, SN: $\frac{1}{2}$ Simmental + $\frac{1}{2}$ Nelore; ²CAN: Canchim, ANG: Angus, CHA: Charolês, BONS: Bonsmara, BRA: Brangus.

Devido a heterogeneidade amostral em cada grupo genético, os animais foram agrupados de acordo com a proporção de *Bos taurus*, de *Bos indicus* e de Adaptado (Tabela 7). Considerando as raças adaptadas às condições brasileiras de produção, foi considerada a raça Nelore como sendo 100% adaptada e a raça Senepol como sendo 50% adaptada (ALENCAR,

2004), assim os bezerros produzidos apresentaram proporções de adaptação que variaram de 25,00% a 75,00%, e proporções de sangue taurino que variaram de 31,25% a 75,00%. Considerando essas proporcionalidades, outras classificações foram realizadas para auxiliarem nas análises das variáveis estudadas e nas comparações de médias. Assim de acordo com os valores percentuais resultantes, animais com proporção de Adaptado de 25,00% e 37,50% foram denominados como grupo 1A (21 animais), de 43,75% e 50,00% como grupo 2A (22 animais) e de 56,25%, 62,50%, 68,75% e 75% como grupo 3A (20 animais). Os mesmos animais também foram agrupados de acordo com a proporção de *Bos taurus*: 31,25% (6 animais), 50,00% (9 animais), 56,25% (23 animais) e 75,00% (25 animais), porém é importante ressaltar que esse agrupamento apresentou uma diferença nas unidades amostrais por grupo.

A procura de um cruzamento comercial envolvendo diferentes raças é desejada, principalmente entre animais *Bos taurus* e *Bos indicus* visto que podem produzir até duas vezes mais heterose do que cruzamentos entre raças *Bos taurus* (CUNDIFF, 2005), resultando nas diferenças em desempenho, em aspectos quantitativos e qualitativos da carne, entre outros aspectos positivos que visam a melhora dos índices produtivos em um sistema de produção de carne bovina (CLÍMACO et al., 2011; MOURÃO et al., 2008). Outra linha de pesquisa, bastante recente, com grupos genéticos bovinos distintos é a associação com emissão de gases, principalmente o metano entérico, com o objetivo de avaliar as intensidades de emissão de metano entre as raças zebuínas, taurinas ou adaptadas (KING et al., 2011; DUTHIE et al., 2017; RAMIREZ-RESTREPO et al., 2017).

Tabela 7 - Grupos genéticos representados como a porcentagem de *Bos taurus*, *Bos indicus* e Adaptado.

% de <i>Bos taurus</i> (Bt), <i>Bos indicus</i> (Bi) e Adaptado (Ad)					
Grupo Genético da Vaca	Raça do Touro				
	Canchim	Angus	Charolesa	Bonsmara	Brangus
	%	%	%	%	%
Nelore	31,25 Bt	50,00 Bt	50,00 Bt	50,00 Bt	31,25 Bt
	68,75 Bi	50,00 Bi	50,00 Bi	50,00 Bi	68,75 Bi
	68,75 Ad	50,00 Ad	50,00 Ad	75,00 Ad	68,75 Ad
1/2 Angus + 1/2 Nelore	56,25 Bt	75,00 Bt	75,00 Bt	75,00 Bt	56,25 Bt
	43,75 Bi	25,00 Bi	25,00 Bi	25,00 Bi	43,75 Bi
	43,75 Ad	25,00 Ad	25,00 Ad	50,00 Ad	43,75 Ad
1/2 Senepol + 1/2 Nelore	56,25 Bt	75,00 Bt	75,00 Bt	75,00 Bt	56,25 Bt
	43,75 Bi	25,00 Bi	25,00 Bi	25,00 Bi	43,75 Bi
	56,25 Ad	37,50 Ad	37,50 Ad	62,50 Ad	56,25 Ad

Considerando os grupos genéticos e as raças bovinas utilizadas, optou-se também por apresentar os resultados em relação à proporção de heterozigose nos grupos genéticos estudados, afim de identificar variações no desempenho, produção de carne e emissão de metano, pois conhecendo a proporção de heterozigose em um cruzamento tem-se uma estimativa do valor da heterose (EUCLIDES FILHO, 1997). As raças Canchim e Brangus, embora sejam derivadas de uma raça continental (Charolês) e uma raça britânica (Angus), respectivamente, tem em suas constituições 3/8 de Zebu e, portanto, produzem menos heterozigose e, conseqüentemente, menos heterose do que os touros Angus, Charolês e Bonsmara, que são raças *Bos taurus*. Os animais com Heterozigose de 50,00 % e 62,50 % foram classificados como grupo 1H (13 animais), de 81,25 % como grupo 2H (19 animais), e de 100% como grupo 3H (31 animais) (Tabela 8).

Tabela 8 – Proporção de Heterozigose nos grupos genéticos estudados.

Grupo Genético da Vaca	% de Heterozigose (Grupo)				
	Raça do Touro				
	Canchim %	Angus %	Charolesa %	Bonsmara %	Brangus %
Nelore	62,5 (1H)	100 (3H)	100 (3H)	100 (3H)	62,5 (1H)
1/2 Angus + 1/2 Nelore	81,25 (2H)	50,0 (1H)	100 (3H)	100 (3H)	50,0 (1H)
1/2 Senepol + 1/2 Nelore	81,25 (2H)	100 (3H)	100 (3H)	100 (3H)	81,25 (2H)

4.3.3. Dieta e consumo

Durante o confinamento, a dieta (Tabela 9) foi fornecida duas vezes ao dia e a quantidade foi ajustada em função das sobras observadas, garantindo consumo *ad libitum*. Para o cálculo do consumo de matéria seca individual (CMS) foi utilizado um cocho automatizado (GrowSafe) que é um sistema eletrônico de monitoramento da ingestão de alimentos que utiliza tecnologia de radiofrequência e permite registrar o consumo individual dos animais com alta precisão.

Tabela 9 - Proporção dos ingredientes na dieta experimental em porcentagem com base na matéria seca.

Ingredientes	Composição da dieta
Silagem de Milho	60,0
Milho grão Moído	22,8
Farelo de Soja	8,0
Farelo de Trigo	7,0
Calcário Calcítico	0,7
Mistura Mineral	1,0
Ureia	0,5
Monensina Sódica	0,03

O sistema de cochos automatizados (GrowSafe) utilizado tinha 8 cochos eletrônicos,

ficando disponível dois cochos por baia. Cada cocho era equipado com uma antena para detectar a presença dos animais, células de carga para medir o desaparecimento de alimento, um pilar equipado com barras ajustáveis para permitir a presença de apenas um animal por vez e software para coleta e registro dos dados de comportamento de alimentação e consumo (MENDES et al., 2011). Antes do início do experimento as barras foram retiradas permitindo a entrada de mais animais para a adaptação tanto do equipamento como da dieta, as barras foram sendo ajustadas a cada dois dias até que permitissem a entrada de apenas um animal por vez, iniciando assim o registro dos dados. No período experimental os animais tiveram acesso livre aos dois cochos da baia durante todo o dia. O sistema GrowSafe registrou e monitorou o comportamento de consumo ininterruptamente através da identificação eletrônica presente no brinco que era detectado pelo equipamento toda vez que o animal colocava a cabeça entre as barras em direção ao cocho (MENDES et al., 2011). O sistema eletrônico mediu o consumo de ração por animal pesando continuamente o desaparecimento do alimento durante cada visita ao cocho, e em tempo real os dados foram gravados via transferência sem fio (wi-fi) para o computador de dados.

Com esses dados, foi possível calcular o consumo diário, e relacionar as variáveis de desempenho e eficiência alimentar bruta, também foi calculado o consumo de matéria seca diária em porcentagem do peso vivo médio (CMSPV). Amostras de alimentos e de sobras foram coletadas semanalmente para análises da composição bromatológica (Tabela 10), além disso foi realizado acompanhamento diário da dieta e dos animais para assegurar o padrão de protocolo. Com as amostras secas e moídas foram calculadas a energia bruta (EB) utilizando bomba calorimétrica e a energia bruta ingerida (EBI) durante o período de confinamento.

Tabela 10 - Composição bromatológica da dieta experimental.

Composição Bromatológica*	Silagem	Concentrado	Dieta completa
MS, %	32,3	85,4	46,3
PB, %	6,87	20,7	10,6
FDN, %	40,8	23,5	33,3
FDA, %	27,5	11,9	19,8
MM, %	3,24	13,2	7,22
EE, %	3,57	3,39	3,50
DIV, %	69,7	89,1	77,1
EB, MJ/kg	-	-	18,3

*MS: matéria seca, PB: proteína bruta, FDN: fibra em detergente neutro, FDA: fibra em detergente ácido, MM: matéria mineral, EE: extrato etéreo, DIV: porcentagem da digestibilidade *in vitro*, EB: energia bruta.

Em relação ao consumo da ração peletizada comercial utilizada no cocho automatizado de mensuração de metano, foram realizados os cálculos necessários para estima-lo individualmente, porém ele não foi somado aos cálculos de desempenho dos animais por representar aproximadamente 2% do consumo diário total. Também foram feitas as análises bromatológicas da ração, que apresentou: 90% de MS, 17% de PB, 6,4% de EE, 13% de MM, 66% de DIV, 6,2% de LIG, 43% de FDN e 17% de FDA. Tomando como base as programações e ajustes do equipamento e as visitas dos animais ao cocho, se os 63 animais consumissem tudo o que foi fornecido pelo cocho, eles ingeririam em média $223 \pm 0,151$ g de ração por dia, porém foi observado, diariamente, alguns problemas relacionados ao consumo da ração, como o desperdício de pellet caído no chão ao redor do equipamento, sendo um dos motivos por optarmos em não levarmos em consideração esse consumo nos cálculos das variáveis de desempenho.

4.3.4. Desempenho animal e abate (produção de carcaça)

A cada 28 dias os animais eram encaminhados ao curral, que se localizava próximo as baias, para pesagem, sendo a pesagem de entrada (PIJ) e saída (PFJ) em jejum de 16 horas de água e de alimentos. Com essas pesagens foi calculado o ganho de peso médio diário (GPD), dividindo o ganho total pelos dias em que os animais permaneceram confinados, que foi em média de 79 ± 15 dias. Outras variáveis de desempenho também foram calculadas, como a conversão alimentar (CA) e a eficiência alimentar bruta (EA).

Para determinar o momento do abate dos animais foram considerados o peso vivo (aproximadamente 540 kg) e a espessura de gordura subcutânea no lombo (mínimo 5 mm) avaliada *in vivo* através do aparelho de ultrassom na região do músculo *Longissimus dorsi* (contrafilé), entre a 12^a e 13^a costelas. O abate foi realizado em frigorífico comercial, seguindo procedimentos normais do Serviço de Inspeção Estadual Brasileiro. O peso médio vivo em jejum dos animais, antes do abate, foi de 514,2 kg. Logo após o abate, foram medidas a área de olho de lombo do músculo *Longissimus* (AOL) e a espessura de gordura subcutânea no lombo (EGS) da carcaça nos mesmos sítios anatômicos descritos anteriormente, utilizando-se grade plástica quadriculada (1 cm²) e paquímetro, respectivamente, além do registro do peso de carcaça quente (PCQ), e foi calculado o rendimento de carcaça (RendC) e do ganho (RendG) como descrito anteriormente. Assim foi possível calcular a intensidade de emissão de metano em kg CO₂-eq. por kg carc. através da equação:

$$IE = \frac{(x \cdot 21)}{y},$$

Onde:

- IE é a Intensidade de Emissão (kg CO₂eq./ kg carc.)
- x é a emissão total de metano em kg durante o período experimental.
- 21 é o Potencial de Aquecimento Global do CH₄ em equivalente CO₂ (IPCC, 1990). O GWP de 21 para o metano foi escolhido pois foi o valor utilizado nos inventários nacionais brasileiros até 2018, seguindo orientação da UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change).
- y é o ganho total de peso em carcaça em kg durante o período experimental.

4.3.5. Mensuração do metano entérico e gás carbônico: GreenFeed

As emissões de metano e gás carbônico foram mensuradas através do equipamento GreenFeed, desenvolvido pela empresa C-Lock Inc. Os cochos automatizados utilizados na mensuração dos gases foram colocados próximos a cerca das baias de modo que os animais tivessem livre acesso, e distante dos cochos eletrônicos de alimentação para evitar interferências e acúmulo de animais. Estímulos no manejo e o uso de ração peletizada comercial para atrair os animais ao cocho foram responsáveis em adaptá-los ao uso do equipamento. Após esse período de adaptação (uma semana), tábuas foram colocadas, formando um caminho estreito,

onde apenas um animal por vez tinha acesso ao cocho, isso permitiu melhor aproveitamento das visitas do animal ao cocho e, conseqüentemente, maior acurácia dos dados mensurados.

A partir do momento que o animal visitava o cocho e posicionava sua cabeça dentro, ele era identificado através do brinco na orelha, e assim os gases eram mensurados pelo equipamento. Apenas os dados capturados que atenderam aos requisitos de uma boa amostragem (posição da cabeça, direção e velocidade do vento, tempo de permanência dentro do cocho) foram utilizados para análise estatística. Para garantir que a posição da cabeça do animal permanecesse de forma correta, o equipamento foi programado para que a cada 45 segundos ocorresse a deposição das porções de pellets de ração (aproximadamente 50g), sendo definido o máximo de seis porções por visita, além disso foi estabelecido o máximo de cinco visitas diárias ao cocho por animal, com um intervalo de 4h45min entre elas, permitindo que o animal visitasse o cocho ao longo de 24 horas. O registro total de visitas dos 63 animais, ao longo do período experimental, foi de 3824 vezes. Os equipamentos ficaram dispostos nas baias de modo que os animais eram capazes de utilizá-los a qualquer momento, desde que outro animal não estivesse no cocho. Para a melhor acurácia dos resultados o filtro de ar foi trocado e o equipamento foi calibrado semanalmente utilizando o gás “zero” (nitrogênio livre de oxigênio) e uma mistura do gás de calibração do nitrogênio contendo 5000 ppm de dióxido de carbono e 1000 ppm de metano. O coeficiente de calibração foi baseado nos gases N_2 , CO_2 e CH_4 , e foram utilizados para calcular a resposta dos sensores. Os dados medidos, segundo a segunda, foram transmitidos via internet sem fio (wi-fi) em tempo real para o sistema da empresa, e após o término do experimento os dados diários de emissão de CO_2 e CH_4 foram disponibilizados por animal.

4.3.5.1. Variáveis relacionadas à emissão de metano entérico

Através dos valores brutos de emissão de gás carbônico (CO_2GD) e de metano (CH_4GD) em gramas por dia foram calculadas a emissão de metano em relação ao peso vivo médio (CH_4PVM), ao peso metabólico (CH_4PMet), ao ganho de peso diário (CH_4GPD) e ao consumo de matéria seca (CH_4CMS) durante o período experimental (aproximadamente 80 dias). Também foram calculadas as perdas energéticas de cada tratamento pela emissão do metano entérico, como a perda de energia bruta em MJ por animal por dia (CH_4EB), a porcentagem de energia bruta ingerida perdida na forma de metano (YM), e as intensidades de emissão em kg de CO_2 -eq. por kg carc. calculado pelo RendC (IERC) e pelo RendG (IERG).

4.3.6. Análises estatísticas

Através do programa Statistical Analysis System (SAS 9.3 Inst. Inc., Cary, NC) os dados foram analisados utilizando o PROC MIXED, e o modelo estatístico considerou como efeitos fixos os grupos genéticos classificados como: proporção de Adaptado, proporção de *Bos taurus* (Tabela 7) e proporção de Heterozigose (Tabela 8). Como efeitos aleatórios foram considerados o ano do experimento e baía. Em todos os testes realizados foram considerados o nível de significância de 5% e as médias foram comparadas utilizando o teste Tukey.

5. RESULTADOS

5.1. EXPERIMENTO 1

5.1.1. Qualidade e consumo da forragem

A temperatura média e a precipitação pluvial total durante o período de avaliação foram, respectivamente, $20,8 \pm 2,3^{\circ}\text{C}$ e 2702,2 mm. A temperatura mensal máxima registrada foi de $31,9^{\circ}\text{C}$ (janeiro de 2014) e a mínima foi de $11,2^{\circ}\text{C}$ (agosto de 2013), e a precipitação pluvial mensal máxima foi de 360,6 mm (dezembro de 2012) e a mínima foi de 0,6 mm (agosto de 2014) durante todo o experimento. O ano de 2014 foi atípico com poucas chuvas e isso também pode ter contribuído para os resultados encontrados. Foram observadas diferenças em algumas variáveis na análise bromatológica (Tabela 11), entre *Panicum maximum* e *Urochloa decumbens*, como MM, LIG, EB e PMS, esse resultado era esperado considerando os diferentes tratamentos e o uso do sistema de irrigação e a aplicação das doses de fertilizantes.

Considerando que a emissão de metano e o desempenho animal são diretamente dependentes da quantidade e qualidade da forragem ingerida, é importante destacar que houve diferenças nas variáveis da análise bromatológica média anual das pastagens dos sistemas de produção referentes aos dois anos de condução do experimento (Tabela 11), sendo que houve efeito de interação entre estação e tratamento para as variáveis FDA ($P = <,0001$), LIG ($P = 0,188$), EB ($P = 0,0369$), DIV ($P = 0,0212$), PMS ($P = 0,0016$) e MM ($P = 0,0013$). Dentro dos tratamentos foram observadas diferenças nas estações do ano para as variáveis: MS, MM, FDA, FDN e PMS no sistema IAL (Apêndice A); MM, EE, FDA, FDN, DIV e PMS no sistema SAL (Apêndice B); PMS no sistema SML (Apêndice C); FDA, LIG e DIV no sistema DEG (Apêndice D), decorrentes dos diferentes níveis de intensificação utilizados nos sistemas de pastagem.

Tabela 11 - Valores médios da produção e qualidade das forragens dos sistemas de produção nos dois anos de avaliação.

Análise	Tratamentos ²				Média ± DP ³	EPM ⁴	P
	IAL	SAL	SML	DEG			
Bromatológica ¹							
MS, %	19,3 ^c	24,9 ^b	25,6 ^b	32,7 ^a	25,4 ± 10,2	0,770	<,0001
MM, %	10,0 ^a	9,80 ^a	9,19 ^b	8,51 ^c	9,55 ± 1,54	0,111	<,0001
PB, %	14,1 ^a	11,9 ^b	11,4 ^b	8,84 ^c	12,0 ± 3,92	0,281	<,0001
EE, %	2,56 ^a	2,61 ^a	2,21 ^b	2,31 ^{ab}	2,46 ± 0,85	0,062	0,0503
FDA, %	36,7 ^c	38,2 ^b	37,6 ^{bc}	40,5 ^a	37,9 ± 4,14	0,302	<,0001
FDN, %	66,4 ^c	68,4 ^b	66,3 ^c	70,7 ^a	67,3 ± 5,70	0,411	<,0001
LIG, %	6,41 ^a	6,32 ^a	4,84 ^b	5,42 ^b	5,72 ± 1,89	0,139	<,0001
DIV, %	60,2 ^a	58,1 ^a	60,0 ^a	53,9 ^b	57,9 ± 7,96	0,573	0,0001
EB, MJ	17,3 ^b	16,9 ^b	18,0 ^a	17,8 ^a	17,5 ± 0,64	0,113	0,0003
PMS, kg/ha	4026 ^a	2990 ^b	1693 ^c	1246 ^c	2489 ± 1875	331,4	<,0001

a, b, c Letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste T ($p < 0,05$).

¹MS: matéria seca total; Valores em base seca a 105°C: MM: matéria mineral, PB: proteína bruta, FDA: fibra em detergente ácido, FDN: fibra em detergente neutro, LIG: lignina, DIV: digestibilidade *in vitro*, EE: extrato etéreo, EB: energia bruta, PMS: produção média de MS; ²IAL: pasto irrigado com alta taxa de lotação, SAL: pasto de sequeiro de alta taxa de lotação, SML: pasto de sequeiro de moderada taxa de lotação, DEG: pasto degradado; ³DP: desvio padrão; ⁴EPM: erro padrão médio.

5.1.2. Desempenho animal e produção de carcaça

Os resultados apresentados de desempenho dos animais são as médias dos dois períodos de avaliação. Diferenças foram encontradas entre os níveis de intensificação dos sistemas de produção em pastagem (Tabela 12). Os animais dos tratamentos IAL, SAL e SML apresentaram maiores pesos vivo médios (PVM), peso metabólico, rendimento de carcaça e consumo de matéria seca comparados com o sistema DEG. Consequentemente os resultados de ganho de peso e eficiência alimentar bruta também indicam um menor desempenho para os animais do sistema DEG. É importante salientar que na estação de inverno, a maioria dos animais do sistema DEG perdeu ou manteve peso (média de ganho = -0,004 kg, considerando 8 animais), e três animais do tratamento SAL na mesma estação apresentaram média de ganho de 0,097 kg. A conversão alimentar foi diferente entre o sistema mais intensificado comparado com os sistemas SAL e DEG, enquanto o sistema SML não diferenciou dos demais neste aspecto, o que pode ter ocorrido devido à influência dos menores valores de ganho de peso observados. O rendimento do ganho não apresentou diferença entre os tratamentos.

Tabela 12 – Resultados médios anuais (média dos dois períodos) das variáveis de desempenho obtidas de machos Nelore em sistemas com diferentes níveis de intensificação a pasto.

Variáveis ⁴	Tratamentos ¹				Média ± DP ²	EPM ³	P
	IAL	SAL	SML	DEG			
PVm (kg)	433,7 ^a	432,5 ^a	430,6 ^a	390,9 ^b	423,0±91,5	6,636	<,0001
PMet (kg ^{0,75})	94,5 ^a	94,5 ^a	94,1 ^a	87,6 ^b	92,8±15,3	1,106	<,0001
RendC (%)	55,8 ^a	55,7 ^a	55,9 ^a	53,3 ^b	55,2±1,67	0,418	0,0012
RendG (%)	67,2	70,5	69,2	56,1	65,7±10,2	2,546	0,0850
GPD (kg/d)	0,533 ^a	0,483 ^a	0,508 ^a	0,392 ^b	0,479±0,19	0,014	0,0007
CMS (kg/d)	7,701 ^a	7,496 ^a	7,597 ^a	6,554 ^b	7,337±1,41	0,101	<,0001
CA (kg/kg)	14,59 ^b	17,53 ^a	16,03 ^{ab}	18,18 ^a	15,96±6,48	0,488	0,0222
EA (kg/kg)	0,071 ^a	0,065 ^a	0,070 ^a	0,059 ^b	0,066±0,03	0,002	0,0013

^{a, b} Letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste T.

¹IAL: pasto irrigado com alta taxa de lotação, SAL: pasto de sequeiro de alta taxa de lotação, SML: pasto de sequeiro de moderada taxa de lotação, DEG: pasto degradado; ²DP: desvio padrão; ³EPM: erro padrão médio; ⁴PVm: peso vivo médio, PMet: peso metabólico, RendC: rendimento de carcaça, RendG: rendimento do ganho, GPD: ganho de peso médio diário, CMS: consumo de matéria seca, CA: conversão alimentar em kg CMS/kg GPD, EA: eficiência alimentar bruta em kg GPD/kg CMS.

Considerando que a intensificação de sistemas de pastejo permite uma maior taxa de lotação e menor ocupação de área, a Tabela 13 apresenta as diferenças entre os tratamentos para lotação, ganhos de peso e de carcaça por área nos dois anos de experimento, sendo os maiores valores para o sistema IAL e os menores para o DEG, em comparação com os sistemas SAL e SML, que tiveram resultados similares. Quanto maior o nível de intensificação nos sistemas, melhores foram os resultados obtidos em termos de produtividade animal comparados com o sistema degradado.

Tabela 13 - Resultados médios anuais (média de dois anos) do desempenho animal por hectare dos sistemas de produção a pasto com diferentes níveis de intensificação.

Variáveis ⁴	Tratamentos ¹				Média ± DP ²	EPM ³	P
	IAL	SAL	SML	DEG			
TLUA (UA/ha)	6,6 ^a	4,2 ^b	3,3 ^b	1,4 ^c	3,85 ± 2,77	0,750	<,0001
TLAE (AE/ha)	7,6 ^a	4,8 ^b	3,6 ^{bc}	1,7 ^c	4,40 ± 3,36	0,660	<,0001
GPHa (kg/ha)	1385 ^a	878,7 ^b	656,4 ^b	224,7 ^c	786,1 ± 493	123,1	<,0001
CarcRCHa (kg/ha)	766,4 ^a	487,0 ^b	366,0 ^b	119,7 ^c	434,8 ± 268	67,11	<,0001
CarcRGHa (kg/ha)	932,2 ^a	625,3 ^b	457,0 ^b	125,7 ^c	535,1 ± 351	87,87	<,0001

^{a, b, c, d} Letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($P \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

¹IAL: pasto irrigado com alta taxa de lotação, SAL: pasto de sequeiro de alta taxa de lotação, SML: pasto de sequeiro de moderada taxa de lotação, DEG: pasto degradado; ²DP: desvio padrão; ³EPM: erro padrão médio; ⁴TLUA: taxa de lotação média por unidade animal, TLAE: taxa de lotação média por animal equivalente, GPHa: ganho de peso médio em kg por hectare, CarcRCHa: produção média anual de carcaça em kg por hectare considerando o rendimento de carcaça, CarcRGHa: produção média anual de carcaça em kg por hectare considerando o rendimento de ganho.

5.1.3. Metano entérico

Todas as variáveis relacionadas ao CH₄ entérico (Tabela 14) apresentaram diferença ($P < ,0001$) entre as estações do ano dentro dos tratamentos (Apêndices E, F, G e H), porém só foram apresentados os valores médios por tratamento, visto que consideramos os resultados acumulados por ano. A CH₄GPD apresentou efeito significativo ($P = 0,0258$) na interação entre tratamento e estação do ano causada pela diferença na estação de inverno (Apêndice I). A produção média diária de metano por animal (CH₄GD) foi de 188 g CH₄, e não houve diferença entre os tratamentos.

A CH₄GD apresentou coeficientes de correlação simples de 0,50 ($P < ,0001$) com PVm, de 0,17 ($P = 0,020$) com GPD e de 0,57 ($P < ,0001$) com CMS. Entre os tratamentos, apenas a produção de metano por ganho de peso diário e a porcentagem de energia bruta perdida na forma de metano foram diferentes (Tabela 14). O resultado da produção de metano por ganho de peso diário foi reflexo da baixa correlação encontrada e do baixo ganho de peso dos animais nos tratamentos DEG e SAL, ambos apresentando uma maior emissão de CH₄ entérico por kg de ganho de peso diário. O sistema IAL apresentou menor emissão por ganho de peso diário, e o SML não apresentou diferença com os tratamentos IAL e DEG.

Foi encontrada uma perda energética média na forma de CH₄ de 8,2%, com melhores valores para os sistemas IAL e SML e não foram observadas diferenças nos valores de CH₄PVm e CH₄PMet (Tabela 14), apesar de terem ocorrido diferenças no peso vivo médio e peso

metabólico dos animais entre os tratamentos. Já em relação a variável CH_4CMS foram encontrados valores com uma grande dispersão e coeficiente de determinação de $R^2 = 0,34$ (Gráfico 12). Houve diferença na variável CMS entre os tratamentos, porém não houve diferença na CH_4CMS , apenas uma tendência ($P=0,0602$) de menor emissão para o sistema IAL comparado com o DEG (Tabela 14).

Gráfico 12 - Regressão entre consumo de matéria seca e emissão de metano em g/dia.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 14 - Variáveis de metano obtidas de machos Nelore em sistemas com diferentes níveis de intensificação a pasto.

Variáveis ⁴	Tratamentos ¹				Média ± DP ²	EPM ³	P
	IAL	SAL	SML	DEG			
CH ₄ GD (g/d)	185,1	199,2	192,7	177,7	188,4±52,6	3,858	0,2484
CH ₄ PVm (g/kg)	0,429	0,468	0,453	0,466	0,451±0,11	0,008	0,3544
CH ₄ PMet (g/kg)	1,945	2,128	2,047	2,050	2,037±0,49	0,036	0,3865
CH ₄ GPD (g/kg)	371,0 ^c	484,5 ^a	404,0 ^{bc}	478,4 ^{ab}	422,3±203	15,28	0,0078
CH ₄ CMS (g/kg)	23,98	26,67	25,24	27,57	25,76±5,92	0,434	0,0602
CH ₄ DDM (g/%)	62,54	64,73	65,80	61,90	63,62±17,9	1,307	0,6985
CH ₄ EB (Mcal/d)	2,457	2,646	2,562	2,353	2,502±0,70	0,051	0,1848
YM % (EBCH ₄ /EBI)	7,714 ^b	8,760 ^a	7,792 ^b	8,610 ^a	8,193±1,86	0,136	0,0170

^{a, b, c} Letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste T.

¹IAL: pasto irrigado com alta taxa de lotação, SAL: pasto de sequeiro de alta taxa de lotação, SML: pasto de sequeiro de moderada taxa de lotação, DEG: pasto degradado; ²DP: desvio padrão; ³EPM: erro padrão médio; ⁴CH₄GD: emissão de metano em g/dia, CH₄PVm: emissão de metano em g CH₄/kg de peso vivo médio, CH₄PMet: emissão de metano em g CH₄/kg de peso metabólico, CH₄GPD: emissão de metano em g CH₄/kg de ganho de peso médio diário, CH₄CMS: emissão de metano em g CH₄/kg de consumo médio diário de matéria seca, CH₄DDM: emissão de metano em g CH₄/kg de matéria seca digestível, CH₄EB: emissão de metano em Mcal CH₄/animal/dia, YM: porcentagem de energia bruta perdida na forma de metano

Considerando que a intensificação de sistemas de pastejo permite uma maior produtividade animal, foram encontradas diferenças entre os tratamentos para a emissão de metano anual por unidade de área e por taxa de lotação por hectare, porém a emissão de metano por ganho de peso e por kg de carcaça calculados pelo RendC por hectare (CH₄CarcRCHa) não apresentaram diferenças entre os tratamentos, já a emissão de metano por ganho de peso e por kg de carcaça calculados pelo RendG por hectare (CH₄CarcRGHa) apresentou diferença com maior emissão para o DEG em comparação com o SAL. Apesar dos sistemas mais intensivos terem uma maior taxa de lotação animal, os animais nesses sistemas produziram mais kg de carne. A intensidade de emissão em kg CO₂-eq calculado pelo RendC (IERC) não apresentou diferença, e a intensidade de emissão em kg CO₂-eq calculado pelo RendG (IERG) mostrou que o sistema degradado apresenta pior resultado em comparação com o sistema de sequeiro de alta lotação, sendo que os demais não diferem entre si.

Tabela 15 - Resultados médios anuais (média de dois anos) das variáveis de metano por hectare dos sistemas de produção a pasto com diferentes níveis de intensificação.

Variáveis ⁴	Tratamentos ¹				Média ± DP ²	EPM ³	P
	IAL	SAL	SML	DEG			
CH ₄ HaY (kg CH ₄ /ha)	469,2 ^a	317,4 ^b	229,8 ^c	100,7 ^d	279,2 ± 141	35,25	<,0001
CH ₄ UAHa (kg CH ₄ /ha)	421,0 ^a	276,8 ^b	213,6 ^b	86,58 ^c	249,5 ± 138	34,44	<,0001
CH ₄ GPHa (g CH ₄ /ha)	0,367	0,374	0,367	0,451	0,390 ± 0,09	0,023	0,3602
CH ₄ CarcRCHa (g CH ₄ /ha)	0,652	0,681	0,654	0,865	0,713 ± 0,17	0,043	0,1560
CH ₄ CarcRGHa (g CH ₄ /ha)	0,547 ^{ab}	0,541 ^b	0,555 ^{ab}	0,805 ^a	0,612 ± 0,19	0,048	0,0271
IERC (kg CO ₂ -eq./kg carc.)	13,70	14,31	13,74	18,15	14,98 ± 3,63	0,909	0,1567
IERG (kg CO ₂ -eq./kg carc.)	11,49 ^{ab}	11,35 ^b	11,65 ^{ab}	16,92 ^a	12,85 ± 4,05	1,011	0,0269

a, b, c, d Letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($P \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

¹IAL: pasto irrigado com alta taxa de lotação, SAL: pasto de sequeiro de alta taxa de lotação, SML: pasto de sequeiro de moderada taxa de lotação, DEG: pasto degradado; ²DP: desvio padrão; ³EPM: erro padrão médio; ⁴CH₄HaY: emissão de metano anual em kg por hectare, CH₄UAHa: emissão de metano anual por UA por hectare, CH₄GPHa: emissão de metano em g por g de ganho de peso médio por hectare, CH₄CarcRCHa: emissão de metano em g por g de peso de carcaça calculado pelo RendC por hectare, CH₄CarcRGHa: emissão de metano em g por g de peso de carcaça calculado pelo RendG por hectare, IERC: intensidade de emissão em kg CO₂-eq. por kg de peso de carcaça calculado pelo RendC, IERG: intensidade de emissão em kg CO₂-eq. por kg de peso de carcaça calculado pelo RendG.

Em geral, apesar de poucas variáveis relacionadas à emissão de CH₄ entérico terem apresentado diferenças entre os tratamentos (Tabelas 14 e 15), vale ressaltar a capacidade de sequestro de C de um pasto melhor manejado, a maior produção de carne por hectare e o abate de animais mais jovens. Pelos resultados deste trabalho pode ser observada uma redução da intensidade de emissão para o sistema SAL em comparação com o DEG quando a emissão de metano por kg de carcaça por hectare é calculada pelo rendimento do ganho.

5.2. EXPERIMENTO 2

5.2.1. Consumo da dieta

Com a classificação dos animais em proporção de Adaptado, *Bos taurus* e Heterozigose, os resultados foram apresentados em uma única tabela (Tabela 16) separados por agrupamento. Neste estudo não encontramos diferenças entre os agrupamentos avaliados para as variáveis relacionadas ao consumo. A utilização da mesma dieta, mesmo manejo, mesma estrutura e animais de mesma idade e peso contribuíram para esse resultado, tendo em vista que o objetivo do trabalho foi avaliar os grupos genéticos. A Tabela 16 mostra que, independentemente da classificação, os animais não apresentam diferenças nessas variáveis, ou seja, o consumo não interferiu nos resultados de desempenho e nos relacionados com metano. A média de consumo dos animais foi de 10,5 kg de MS (2,4% do PV), com uma ingestão de energia bruta de 192 MJ diariamente.

Tabela 16 - Comparação de médias das variáveis relacionadas ao consumo dos animais classificadas pela proporção de Adaptado, de *B. taurus* e de Heterozigose.

Variáveis*	Class. Adaptação ¹				P	Class. <i>Bos taurus</i> ²				P	Heterozigose ³				P	Média+DP#	EP#	
	(n**)					(n**)					(n**)							
	1A	2A	3A			31,25	50,00	56,25			75,00	1H	2H					3H
	(21)	(22)	(20)			(6)	(9)	(23)			(25)	(13)	(19)					(31)
CMS, kg/d	10,39	10,70	10,27	0,5925	10,90	11,30	10,16	10,34	0,2033	10,89	10,05	10,53	0,2267	10,47±1,73	0,22			
CMSPV, %	2,379	2,426	2,353	0,7454	2,445	2,428	2,354	2,390	0,9063	2,537	2,306	2,375	0,1255	2,361±0,44	0,06			
EBI, MJ/d	190,6	196,3	188,3	0,5909	199,9	207,3	186,4	189,8	0,2040	199,8	184,3	193,3	0,2265	192,0±31,7	4,00			

*CMS: consumo diário de matéria seca, CMSPV: consumo de MS em % do peso vivo médio, EBI: energia bruta ingerida; **n: número de animais avaliados;

[#]DP: desvio padrão, EP: erro padrão; ¹Grupos divididos pela proporção de Adaptado: 1A = 25,0% e 37,5%, 2A = 43,75% e 50,0%, 3A = 56,25%, 62,5%, 68,75% e 75,0%; ²Grupos divididos pela proporção de *Bos taurus*: 31,25%, 50,00%, 56,25% e 75,00%; ³Grupos divididos pela proporção de Heterozigose: 1H = 50,00% + 62,50%, 2H = 81,25% e 3H = 100%.

5.2.2. Desempenho animal e produção de carcaça

Para as variáveis de desempenho os animais classificados pela proporção de Adaptado apresentaram diferenças no ganho de peso diário, eficiência alimentar bruta e espessura de gordura subcutânea (Tabela 17). Animais menos adaptados, ou seja, filhos de touros Angus e Charolês (Tabela 7) apresentaram um GPD maior, mesmo consumo de MS (Tabela 16) e consequentemente uma eficiência alimentar bruta melhor, apesar de apresentarem rendimentos de carcaça e do ganho menores em comparação com animais 2A.

Tabela 17 - Comparação das médias das variáveis de desempenho classificadas pela proporção de Adaptado nos animais.

Variáveis ³	Class. Adaptação ¹			Média ± DP	EP ²	P
	1A n = 21	2A n = 22	3A n = 20			
PIJ, kg	370,8	382,9	369,6	378,6 ± 41,60	5,24	0,1547
PFJ, kg	516,4	510,4	503,1	514,2 ± 45,54	5,74	0,4957
PMet, kg ^{0,75}	96,53	97,02	95,41	97,04 ± 6,837	0,86	0,4738
GPD, kg/d	1,953 ^a	1,685 ^b	1,604 ^b	1,757 ± 0,357	0,04	0,0034
CA, kg/kg	5,683	6,922	6,372	6,266 ± 2,129	0,27	0,0910
EA, kg/kg	0,192 ^a	0,160 ^b	0,159 ^b	0,172 ± 0,042	0,01	0,0039
PCQ, kg	279,1	287,3	276,2	283,2 ± 25,42	3,20	0,1475
RendC, %	53,71 ^b	56,54 ^a	55,12 ^{ab}	55,15 ± 2,930	0,37	0,0051
RendG, %	64,09 ^b	78,16 ^a	69,84 ^{ab}	70,84 ± 14,85	1,87	0,0061
EGS, mm	6,585 ^{ab}	6,771 ^a	5,212 ^b	6,206 ± 2,088	0,26	0,0294
AOL, cm ²	66,02	71,60	71,43	70,00 ± 8,354	1,05	0,0569

^{a, b} Letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($P \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

¹ Grupos divididos pela proporção de Adaptado: 1A = 25,0 % e 37,5 %, 2A = 43,75 % e 50,0 %, 3A = 56,25 %, 62,5 %, 68,75 % e 75,0 %; ² EP: erro padrão; ³PIJ: peso inicial em jejum, PFJ: peso final em jejum, PMet: peso metabólico, GPD: ganho de peso diário, CA: conversão alimentar em kg CMS/kg GPD, EA: eficiência alimentar bruta em kg GPD/kg CMS, PCQ: peso da carcaça quente, RendC: rendimento de carcaça, RendG: rendimento do ganho, EGS: espessura de gordura subcutânea, AOL: área de olho de lombo do músculo *longissimus*.

A classificação pela porcentagem de *B. taurus* (31,25%, 50,00%, 56,25% e 75,00%), refletiu em um peso médio de entrada no confinamento diferente (Tabela 18), sendo animais com maiores porcentagens (56,25% e 75,00%) mais leves em comparação com animais ½ sangue *B. taurus*, porém ao final do experimento apenas o grupo com 56,25% apresentou menor

peso vivo que o grupo com 50%. Já o PMet manteve as mesmas diferenças encontradas no peso vivo inicial entre os agrupamentos. Esse resultado no PFJ é oriundo da diferença no GPD dos grupos, sendo que animais com 75% de sangue *B. Taurus* ganharam mais peso diariamente comparados com animais de 56,25%. Em relação ao PCQ, animais 50% apresentaram uma tendência de carcaça mais pesada que animais 56,25% e 75% ($P = 0,0783$), e o rendimento de carcaça e o rendimento do ganho foram maiores para animais 56,25% em comparação com animais 75,00%. Em relação à eficiência alimentar bruta, animais com $\frac{3}{4}$ de sangue *B. taurus* foram melhores que animais com 56,25%, isso também foi reflexo do ganho de peso diário (Tabela 18).

Tabela 18 - Comparação das médias das variáveis de desempenho classificadas pela proporção de *B. taurus* nos animais.

Variáveis ³	% de <i>B. taurus</i> ¹				Média $\pm$ DP ²	EP ²	P
	31,25 n = 6	50,00 n = 9	56,25 n = 23	75,00 n = 25			
PIJ, kg	377,8 ^{ab}	406,3 ^a	369,5 ^b	368,3 ^b	378,6 $\pm$ 41,60	5,24	0,0006
PFJ, kg	515,1 ^{ab}	538,6 ^a	496,9 ^b	511,2 ^{ab}	514,2 $\pm$ 45,54	5,74	0,0190
PMet, kg ^{0,75}	97,07 ^{ab}	101,2 ^a	94,89 ^b	95,89 ^b	97,04 $\pm$ 6,837	0,86	0,0032
GPD, kg/d	1,671 ^{ab}	1,866 ^{ab}	1,563 ^b	1,883 ^a	1,757 $\pm$ 0,357	0,04	0,0054
CA, kg/kg	6,621	6,310	6,970	5,718	6,266 $\pm$ 2,129	0,27	0,1103
EA, kg/kg	0,158 ^{ab}	0,165 ^{ab}	0,157 ^b	0,186 ^a	0,172 $\pm$ 0,042	0,01	0,0203
PCQ, kg	280,7	297,3	279,4	277,4	283,2 $\pm$ 25,42	3,20	0,0783
RendC, %	54,63 ^{ab}	54,93 ^{ab}	56,51 ^a	54,11 ^b	55,15 $\pm$ 2,930	0,37	0,0312
RendG, %	67,52 ^{ab}	71,30 ^{ab}	78,04 ^a	64,85 ^b	70,84 $\pm$ 14,85	1,87	0,0173
EGS, mm	5,392	7,129	5,617	6,636	6,206 $\pm$ 2,088	0,26	0,1479
AOL, cm ²	70,34	71,07	72,40	66,78	70,00 $\pm$ 8,354	1,05	0,1094

^{a, b} Letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($P \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

¹ Grupos divididos pela proporção de *B. taurus*: 31,25%, 50,00%, 56,25% e 75,00%; ² DP: desvio padrão, EP: erro padrão; ³PIJ: peso inicial em jejum, PFJ: peso final em jejum, PMet: peso metabólico, GPD: ganho de peso diário, CA: conversão alimentar em kg CMS/kg GPD, EA: eficiência alimentar bruta em kg GPD/kg CMS, PCQ: peso da carcaça quente, RendC: rendimento de carcaça, RendG: rendimento do ganho, EGS: espessura de gordura subcutânea, AOL: área de olho de lombo do músculo *longissimus*.

O agrupamento pela Heterozigose apresentou diferenças nas seguintes variáveis: PFJ, GPD, CA, EA, RendC, RendG, EGS e AOL. Através da divisão pela proporção de

Heterozigose, os animais iniciaram o experimento no confinamento com pesos médios semelhantes, porém, durante o período experimental os animais do grupo 3H estavam mais pesados que o grupo 1H (Tabela 19), diferenças entre esses grupos também foram observadas nas variáveis GPD, EA, CA, RendC e RendG sendo que os rendimentos foram melhores para o grupo 1H.

Em relação às variáveis relacionadas com a quantidade e qualidade da carcaça, o grupo 2H produziu uma carcaça com menos acabamento de gordura em relação aos demais grupos, porém com um maior rendimento cárneo em comparação ao grupo 1H.

Tabela 19 - Comparação das médias das variáveis de desempenho classificadas pela proporção de Heterozigose.

Variáveis ³	Heterozigose ¹			Média ± DP ²	EP ²	P
	1H	2H	3H			
	n = 13	n = 19	n = 31			
PIJ, kg	372,8	368,2	379,6	378,6 ± 41,60	5,24	0,3044
PFJ, kg	491,4 ^b	505,3 ^{ab}	520,5 ^a	514,2 ± 45,54	5,74	0,0310
PMet, kg ^{0,75}	94,71	95,48	97,55	97,04 ± 6,837	0,86	0,1067
GPD, kg/d	1,534 ^b	1,666 ^{ab}	1,877 ^a	1,757 ± 0,357	0,04	0,0042
CA, kg/kg	7,905 ^a	6,136 ^b	5,831 ^b	6,266 ± 2,129	0,27	0,0012
EA, kg/kg	0,148 ^b	0,167 ^{ab}	0,182 ^a	0,172 ± 0,042	0,01	0,0106
PCQ, kg	277,2	279,5	283,8	283,2 ± 25,42	3,20	0,5842
RendC, %	56,75 ^a	55,35 ^{ab}	54,38 ^b	55,15 ± 2,930	0,37	0,0437
RendG, %	80,38 ^a	70,54 ^{ab}	67,02 ^b	70,84 ± 14,85	1,87	0,0225
EGS, mm	7,402 ^a	4,857 ^b	6,545 ^a	6,206 ± 2,088	0,26	0,0007
AOL, cm ²	65,80 ^b	73,59 ^a	69,12 ^{ab}	70,00 ± 8,354	1,05	0,0177

^{a, b} Letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($P \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

¹ Grupos divididos pela proporção de Heterozigose: 1H = 50,00 % + 62,50 %, 2H = 81,25 % e 3H = 100,0 %; ² DP: desvio padrão, EP: erro padrão; ³PIJ: peso inicial em jejum, PFJ: peso final em jejum, PMet: peso metabólico, GPD: ganho de peso diário, CA: conversão alimentar em kg CMS/kg GPD, EA: eficiência alimentar bruta em kg GPD/kg CMS, PCQ: peso da carcaça quente, RendC: rendimento de carcaça, RendG: rendimento do ganho, EGS: espessura de gordura subcutânea, AOL: área de olho de lombo do músculo *longissimus*.

5.2.3. Metano entérico

Os resultados apresentados anteriormente de consumo e desempenho dos animais são necessários para avaliarmos os resultados das variáveis de emissão de GEE, principalmente o

metano entérico, e interpretarmos as diferenças estatísticas observadas. Para a classificação por adaptação dos animais foi observada apenas uma diferença para a emissão de CO₂ (CO₂GD), sendo que animais 1A e 2A emitiram mais comparados com animais 3A (Tabela 20). Apesar de haver diferença no GPD entre os animais, não foi encontrada diferença na emissão em relação ao ganho de peso. Os resultados também mostram uma tendência de maiores valores para as variáveis CH₄CMS ($P = 0,0986$) e YM ($P = 0,0984$) do grupo com menor proporção de Adaptado (1A).

Tabela 20 - Comparação das médias das variáveis de emissão de metano entérico classificadas pela proporção de Adaptado nos animais.

Variáveis ³	Class. Adaptação ¹			Média ± DP ²	EP ²	P
	1A n = 21	2A n = 22	3A n = 20			
CH ₄ GD, g/d	171,8	165,9	156,5	165,3 ± 27,11	3,42	0,2046
CO ₂ GD, g/d	7599 ^a	7323 ^a	6697 ^b	7212 ± 973,7	123	0,0015
CH ₄ PVm, g/kg	0,382	0,374	0,360	0,372 ± 0,066	0,01	0,5732
CH ₄ PMet, g/kg	1,747	1,718	1,650	1,708 ± 0,287	0,04	0,5546
CH ₄ GPD, g/kg	89,79	106,4	97,80	98,20 ± 29,31	3,69	0,1754
CH ₄ CMS, g/kg	17,64	15,51	15,37	16,21 ± 3,780	0,48	0,0986
CH ₄ EB, MJ/d	9,552	9,226	8,704	9,190 ± 1,508	0,19	0,2061
YM, EBCH ₄ /EBI	5,345	4,698	4,656	4,912 ± 1,146	0,14	0,0984
IERC, CO ₂ -eq./carc.	3,477	3,909	3,747	3,714 ± 0,923	0,12	0,3116
IERG, CO ₂ -eq./carc.	2,951	2,839	2,991	2,916 ± 0,592	0,07	0,6674

^{a, b} Letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($P \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

¹ Grupos divididos pela proporção de Adaptado: 1A = 25,0 % e 37,5 %, 2A = 43,75 % e 50,0 %, 3A = 56,25 %, 62,5 %, 68,75 % e 75,0 %; ² DP: desvio padrão, EP = erro padrão; ³ CH₄GD: emissão de metano em g/dia, CO₂GD: emissão de CO₂ em g/dia, CH₄PVm: emissão de metano em g CH₄/kg de peso vivo médio, CH₄PMet: emissão de metano em g CH₄/kg de peso metabólico, CH₄GPD: emissão de metano em g CH₄/g de ganho de peso médio diário, CH₄CMS: emissão de metano em g CH₄/kg de consumo médio diário de matéria seca, CH₄EB: emissão de metano em MJ CH₄/animal por dia, YM: porcentagem de EB perdida na forma de metano, IERC: intensidade de emissão em kg CO₂ eq./kg carc. calculado pelo RendC, IERG: intensidade de emissão em kg CO₂ eq./kg carc. calculado pelo RendG.

Os grupos genéticos com diferentes proporções de *B. taurus* não apresentaram nenhuma diferença nas variáveis relacionadas ao metano entérico (Tabela 21), mesmo os animais tendo apresentado diferenças nas variáveis de desempenho PV, PMet e GPD (Tabela 18). Em relação a variável CO₂GD podemos observar apenas uma tendência de menor emissão ($P = 0,0965$)

para animais classificados com 31,25% de sangue *B. taurus* em comparação com animais com 75,00%.

Tabela 21 - Comparação das médias das variáveis de desempenho classificadas pela proporção de *B. taurus* nos animais.

Variáveis ³	% de <i>B. taurus</i> ¹				Média ± DP ²	EP ²	P
	31.25 n = 6	50.00 n = 9	56.25 n = 23	75.00 n = 25			
CH ₄ GD, g/d	172,5	168,3	154,4	171,4	165,3 ± 27,11	3,42	0,1430
CO ₂ GD, g/d	6726	7323	7003	7480	7212 ± 973,7	123	0,0965
CH ₄ PVm, g/kg	0,390	0,349	0,358	0,390	0,372 ± 0,066	0,01	0,2098
CH ₄ PMet, g/kg	1,794	1,629	1,635	1,778	1,708 ± 0,287	0,04	0,2430
CH ₄ GPD, g/kg	105,0	91,35	105,0	92,66	98,20 ± 29,31	3,69	0,3963
CH ₄ CMS, g/kg	15,88	15,33	15,24	17,32	16,21 ± 3,780	0,48	0,2295
CH ₄ EB, MJ/d	9,589	9,354	9,588	9,528	9,190 ± 1,508	0,19	0,1441
YM, EBCH ₄ /EBI	4,811	4,646	4,617	5,148	4,912 ± 1,146	0,14	0,2288
IERC	4,046	3,476	3,864	3,583	3,714 ± 0,923	0,12	0,4794
IERG	3,326	2,680	2,827	3,000	2,916 ± 0,592	0,07	0,1197

¹ Grupos divididos pela proporção de *B. taurus*: 31,25 %, 50,00 %, 56,25 % e 75,00 %; ² DP: desvio padrão, EP = erro padrão; ³ CH₄GD: emissão de metano em g/dia, CO₂GD: emissão de CO₂ em g/dia, CH₄PVm: emissão de metano em g CH₄/kg de peso vivo médio, CH₄PMet: emissão de metano em g CH₄/kg de peso metabólico, CH₄GPD: emissão de metano em g CH₄/g de ganho de peso médio diário, CH₄CMS: emissão de metano em g CH₄/kg de consumo médio diário de matéria seca, CH₄EB: emissão de metano em MJ CH₄/animal por dia, YM: porcentagem de EB perdida na forma de metano, IERC: intensidade de emissão em kg CO₂ eq./kg carc. calculado pelo RendC, IERG: intensidade de emissão em kg CO₂ eq./kg carc. calculado pelo RendG.

As variáveis relacionadas com a emissão de CH₄ e CO₂, considerando a classificação pela proporção de Heterozigose, foram as que apresentaram mais diferenças entre os agrupamentos (Tabela 22). Começando com a diferença na CH₄GD, onde os animais classificados como 3H emitiram mais metano que animais do grupo 2H, essa diferença também foi observada para a emissão de CO₂ (CO₂GD), e em relação a variável CH₄EB, sendo os resultados de ambos semelhantes ao do grupo 1H. A variável CH₄GPD mostrou que animais 1H emitem mais que os demais grupos. No geral, o grupo 2H apresentou os melhores resultados em relação à emissão de CH₄ e CO₂. Porém, tanto o grupo 2H quanto o 3H apresentaram uma menor intensidade de emissão calculada pelo rendimento de carcaça (IERC) em comparação com o grupo 1H. A intensidade de emissão média, durante o período experimental, foi de 3,714

kg CO₂-eq./kg carc. calculado pelo rendimento de carcaça e de 2,916 kg CO₂-eq./kg carc. calculado pelo rendimento do ganho, sendo considerado apenas a emissão proveniente do CH₄ entérico, e não as emissões de GEE do sistema como um todo.

Tabela 22 - Comparação das médias das variáveis de emissão de metano entérico classificadas pela proporção de Heterozigose.

Variáveis ³	Heterozigose ¹			Média ± DP ²	EP ²	P
	1H	2H	3H			
	n = 13	n = 19	n = 31			
CH ₄ GD, g/d	166,6 ^{ab}	151,7 ^b	172,4 ^a	165,3 ± 27,11	3,42	0,0285
CO ₂ , g/d	7052 ^{ab}	6902 ^b	7465 ^a	7212 ± 973,7	123	0,0439
CH ₄ PVm, g/kg	0,390	0,347	0,380	0,372 ± 0,066	0,01	0,1089
CH ₄ PMet, kg	1,783	1,589	1,747	1,708 ± 0,287	0,04	0,0913
CH ₄ GPD, g/kg	119,2 ^a	91,82 ^b	93,37 ^b	98,20 ± 29,31	3,69	0,0102
CH ₄ CMS, g/kg	15,20	15,32	17,03	16,21 ± 3,780	0,48	0,1793
CH ₄ EB, MJ/d	9,265 ^{ab}	8,436 ^b	9,585 ^a	9,190 ± 1,508	0,19	0,0289
YM, EBCH ₄ /EBI	4,605	4,643	5,159	4,912 ± 1,146	0,14	0,1790
IERC, CO ₂ -eq./carc.	4,338 ^a	3,491 ^b	3,593 ^b	3,714 ± 0,923	0,12	0,0173
IERG, CO ₂ -eq./carc.	3,097	2,770	2,944	2,916 ± 0,592	0,07	0,2689

^{a, b} Letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($P \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

¹ Grupos divididos pela proporção de Heterozigose: 1H = 50,00 % + 62,50 %, 2H = 81,25 % e 3H = 100,0 %; ² DP: desvio padrão, EP = erro padrão; ³ CH₄GD: emissão de metano em g/dia, CO₂GD: emissão de CO₂ em g/dia, CH₄PVm: emissão de metano em g CH₄/kg de peso vivo médio, CH₄PMet: emissão de metano em g CH₄/kg de peso metabólico, CH₄GPD: emissão de metano em g CH₄/g de ganho de peso médio diário, CH₄CMS: emissão de metano em g CH₄/kg de consumo médio diário de matéria seca, CH₄EB: emissão de metano em MJ CH₄/animal por dia, YM: porcentagem de EB perdida na forma de metano, IERC: intensidade de emissão em kg CO₂ eq./kg carc. calculado pelo RendC, IERG: intensidade de emissão em kg CO₂ eq./kg carc. calculado pelo RendG.

6. DISCUSSÃO

6.1. EXPERIMENTO 1

6.1.1. Qualidade e consumo da forragem

Alguns trabalhos que avaliaram a composição das pastagens tropicais (RODRIGUES et al., 2014; SANTOS et al., 2004; SANTOS et al., 2008; SOUSA et al., 2010) também encontraram diferenças nas características qualitativas e quantitativas da forragem decorrentes dos diferentes tratamentos testados e das condições edafoclimáticas observadas nos locais dos trabalhos. Veloso (2012) verificou que quanto mais N-ureia aplicada na pastagem maior é o teor de proteína nas forragens, esse efeito também foi encontrado por Souza et al. (2010) em *Panicum maximum* utilizando diferentes doses de nitrogênio (N) e fósforo (P). Os valores de proteína bruta aqui reportados para o sistema DEG (Tabelas 3 e 4), manejado sem aplicação de insumos ou outra tecnologia, foram mais altos comparados com a literatura, justificados pela melhor condição da pastagem experimental em relação à maioria dos pastos degradados no Brasil.

A diferença encontrada no teor de lignina (Tabela 11) pode ser explicada pela idade da planta, diferença entre as gramíneas e entre os métodos de análise utilizados. Velasco (2011) mostrou que *Urochloa decumbens* aumenta o teor de lignina à medida que a planta fica mais velha, sendo que aos 84 dias apresentou 5,19% de lignina. Velásquez et al. (2018) reportaram diferenças no teor de lignina entre os métodos de determinação utilizados e também apresentaram valores diferentes entre gramíneas *Urochloa* e *Panicum* da mesma idade. Nos sistemas IAL e SAL houve uma maior produção média de matéria seca das pastagens (Tabela 11), isso poderia ter permitido uma maior sobra de forragem, e consequente efeito no teor de lignina no momento da coleta de amostras caso não fosse realizado o manejo de lotação variável com o uso dos animais reguladores, sendo assim é mais provável que esta diferença seja proveniente do método ou do tipo de gramínea utilizados. Para o *Panicum maximum* cv. Tanzânia, o presente trabalho obteve teores de lignina maiores comparados com Veloso (2012), 6,4% vs 3,0%, e iguais ao trabalho de Castro et al. (2010). Veloso (2012) encontrou maiores teores de lignina em *Panicum maximum* a partir de doses anuais de 100 kg de N/ha, porém, houve um aumento do teor de PB e queda no de FDN e, consequente melhora na digestibilidade, como observado neste trabalho. Isso mostra que apesar da diferença nos teores de lignina entre os tratamentos, as diferentes doses de N não prejudicaram a qualidade da forragem. Porém segundo Castro et al. (2010), a idade da planta influencia os teores de PB e FDN, quanto mais

velhas forem as plantas, menores serão os teores.

A diferença na composição nutricional da dieta em sistemas de produção a pasto e o comportamento alimentar dos bovinos podem afetar as emissões (MORAES et al., 2014), embora Hammond et al. (2009) reportem que apenas 13% da variação na emissão de CH₄ pode ser explicada pela composição da forragem, e que características digestivas individuais dos animais e as interações com componentes físicos e químicos da forragem podem afetar mais essa variação. Em trabalho realizado com pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, Demarchi et al. (2016) encontraram diferenças nas análises bromatológicas e nas emissões de CH₄ entérico entre as estações do ano, indicando que a qualidade da pastagem pode interferir na emissão. A estratégia de manejo de pastagem ideal para cada sistema de produção em determinado período do ano deve garantir o aumento da produtividade animal, ou seja, o aumento da quantidade de produto por área, sem afetar o desenvolvimento sustentável da atividade.

6.1.2. Desempenho animal e produção de carcaça

A diferença encontrada nos valores do PVM, PMet e CMS para o sistema DEG (Tabela 12) eram esperados em função da diferença observada entre as características quantitativas e qualitativas das forragens dos tratamentos, com maior produção de massa, proteína bruta e digestibilidade nos sistemas com uso de tecnologias aplicadas ao manejo intensivo. O ganho de peso dos animais inclui o ganho em carcaça (osso, músculo e gordura), em não-carcaça e o conteúdo gastrointestinal, por isso há diferença entre os rendimentos de carcaça e do ganho. Houve diferença do RendC e uma tendência no RendG ($P = 0,0850$) de piores resultados para o sistema degradado em comparação com os demais.

O ganho de peso médio diário dos animais nos sistemas com o uso de insumos e tecnologias que buscaram a intensificação (SML, SAL e IAL) foi de 0,508 kg/dia. Outros trabalhos utilizando animais Nelore a pasto encontraram valores médios de 0,576 kg/dia (DEMARCHI et al., 2016) e com a adição de suplementação energética um ganho de 0,596 kg/dia (NASCIMENTO et al., 2016), mostrando que o ganho dos animais varia conforme a aplicação de tecnologias e o manejo correto do pasto, esse ganho também varia em sistema de confinamento dependendo da dieta e do tipo de alimento fornecido aos animais (FIORENTINI et al., 2014; LAGE et al., 2016; MERCADANTE, et al., 2015; ROSSI et al., 2017). Como observado, melhores resultados produtivos podem ser alcançados com o uso eficiente da forragem em sistemas de produção, e se associado a outros manejos, como sanitário e reprodutivo, e ter a preocupação com as questões ambientais, como a emissão de GEE, podem

garantir maior produtividade com menor impacto ambiental (PEREIRA et al., 2015). O aumento da produtividade dos animais é uma das maneiras mais efetivas de mitigação de GEE, pois permite a redução no número de animais utilizados para produzir a mesma quantidade de produto (carne ou leite), e a maior produtividade pode ser alcançada através do melhor manejo das pastagens (HRISTOV et al., 2013b). Os resultados deste estudo sugerem que sistemas com algum nível de intensificação são mais produtivos (Tabela 13), porém é necessário mensurar qual é a quantidade de GEE emitida ao utilizar essas tecnologias no pasto para assim, avaliar qual nível de intensificação é adequado levando em consideração a produtividade animal e a emissão. Países em desenvolvimento, onde o uso de tecnologias não é algo comum, a energia bruta gasta na forma de metano pode ser três vezes maior (69%) do que a gasta para a produção de carne e leite (47,1%) em 2005 (O'MARA, 2011). Segundo Hristov et al. (2013b), os baixos índices produtivos nos países em desenvolvimento são consequências do baixo potencial genético dos animais e da pouca disponibilidade de alimentos de qualidade. Animais em pastagens degradadas tendem a perder peso no período seco do ano, como observado neste estudo, ou seja, eles estão emitindo sem produzir carne. Essa diferença no GPD também foi observada por Demarchi et al. (2016).

O efeito da irrigação é mais pronunciado sobre a lotação do que sobre o ganho de peso dos animais, ou seja, ela influencia mais a produção de biomassa que a digestibilidade da forragem (RIBEIRO et al., 2008). À medida que a intensificação dos sistemas de produção de bovinos de corte aumenta a lotação, o ganho de peso e a produção de carcaça por hectare também aumentam (CARDOSO et al., 2016). O sistema mais intensificado (IAL) produziu 1,6; 2,1; e 6,5 vezes mais kg de carcaça comparando com os sistemas SAL, SML e DEG, respectivamente (OLIVEIRA et al., 2018). Estratégias de manejo que melhoram a eficiência alimentar ou a produtividade, usando forragens de melhor qualidade e animais de alta produção, podem reduzir as emissões de metano por unidade de produto (OLIVEIRA SILVA et al., 2017; PATRA, 2012).

6.1.3. Metano entérico

Neste experimento apenas houve diferença na quantidade de metano produzida em g/dia entre os tratamentos na estação primavera (Apêndice I), mas não houve diferença na média anual acumulada (Tabela 14). Sistemas a pasto com integração lavoura-pecuária, com uso de dois níveis de nitrogênio e uso da floresta, foram avaliados por Pontes et al. (2018) com novilhas, e não influenciaram as CH_4GD e CH_4PV dos animais, mas apresentaram diferenças

na CH_4GPD e na emissão de metano por hectare oriundas dos efeitos indiretos de desempenho (ganho de peso diário e taxa de lotação), mesmo resultado encontrado neste trabalho. Além disso a diferença encontrada entre os tratamentos para a emissão de metano em relação ao ganho de peso diário foi decorrente do efeito da interação entre tratamento e estação (Apêndice I). Demarchi et al. (2016) avaliando animais da raça Nelore com peso e idade médios similares ao presente trabalho em pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, apresentaram emissão de metano diária menor ($154 \text{ gCH}_4/\text{dia}$) comparado com esse trabalho ($188 \text{ gCH}_4/\text{dia}$), assim como Pontes et al. (2018) que reportaram emissão média de $163 \text{ gCH}_4/\text{dia}$. A comparação da emissão de metano em gramas por dia não é suficiente para explicar as diferenças, pois animais podem apresentar valores semelhantes de emissão, porém um pode estar perdendo peso em um sistema degradado e outro pode estar ganhando peso em um sistema irrigado, por isso é importante a comparação de variáveis de emissão de metano relacionadas ao peso médio, ao ganho, ao consumo, entre outras formas de apresentação que podem explicar a diferença nos valores apresentados acima.

A energia bruta ingerida perdida na forma de CH_4 (YM) varia de 2,0 a 11,6%, essa variação é dependente, principalmente, do peso do animal e da composição da dieta, porém em animais ruminantes há uma maior incidência de 5,5 a 6,5% de energia perdida (JOHNSON, 1992). Segundo Johnson e Ward (1996) taxas maiores que 7% de perda energética na forma de metano podem ocorrer quando dietas de alta qualidade são fornecidas em quantidade restrita ou abaixo da energia de manutenção. Fiorentini et al. (2014) avaliando diferentes perfis de ácidos graxos na dieta encontraram valores menores de YM (3,05 a 4,81%). Demarchi et al. (2016) encontraram valor médio de 6,3% ao ano, e Nascimento et al. (2016) reportaram valores variando de 6,18 a 9,02% avaliando as emissões de metano de animais Nelore alimentados com feno de *Urochloa brizantha* em diferentes estágios de crescimento da planta. O valor médio de 8,19% (Tabela 14) encontrado foi maior comparado com os valores da literatura, podendo ser consequência da qualidade da forragem em determinadas estações do ano.

Os valores encontrados de CH_4PVM e CH_4PMet foram maiores em comparação aos reportados por Nascimento et al. (2016), que reportaram $0,340 \text{ g CH}_4/\text{kg PVM}$ e $1,51 \text{ g CH}_4/\text{kg PMet}$, enquanto este trabalho encontrou $0,451 \text{ g CH}_4/\text{kg PVM}$ e $2,037 \text{ g CH}_4/\text{kg PMet}$. Isso pode ser explicado pela combinação da maior ingestão de MS ($5,537$ vs $7,337 \text{ kg/dia}$), e consequentemente maior emissão de metano ($135,0$ vs $188,4 \text{ gCH}_4/\text{dia}$) dos animais neste experimento, visto que o peso vivo médio não apresentou grande diferença (402 vs 423 kg). Já Canesin et al. (2014) encontraram valores maiores ($2,525 \text{ g CH}_4/\text{kg PMet}$), apesar dos animais apresentarem peso vivo médio menor (399 kg), eles consumiram mais MS ($7,760 \text{ kg/dia}$) e

emitiram mais CH₄ (243,9 g CH₄/dia), mostrando a forte relação entre emissão de CH₄ e ingestão de MS, como observado nos coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,82 a 0,86 entre essas variáveis, reportados por Beauchemin and McGinn, 2006; Hristov et al., 2013a; e Jonker et al., 2016. Valores de $R^2 = 0,56$ e $R^2 = 0,23$ foram reportados por Grainger et al. (2007) e Savian et al. (2014), respectivamente. Também reforçando esse resultado, pode-se observar o coeficiente de correlação simples entre emissão de metano e CMS (0,57) que foi maior comparado com CH₄GD e PVm (0,50).

Esta relação entre emissão e consumo também pode ser observada no trabalho de Mercadante et al. (2015) que classificaram animais segundo o CAR (consumo alimentar residual) e identificaram que animais mais eficientes consumiram média de 7,09 kg/d e animais menos eficientes média de 8,12 kg/d, apresentando diferenças de emissão de metano, 144 vs 163 g/d, respectivamente. Segundo Buddle et al. (2011) o consumo de MS é o principal fator que impulsiona a produção de CH₄ em ruminantes, no entanto, a produção de metano por unidade de CMS (g CH₄/kg CMS) reduz com o aumento do CMS, o que pode ser explicado por um maior turnover ruminal levando a uma menor digestibilidade da dieta.

Muitos trabalhos têm apresentado resultados da influência da qualidade da pastagem sobre a emissão de metano. Segundo Clark, Kelliher e Pinares-Patiño (2011), o aumento da digestibilidade das forragens poderia ser uma opção de mitigação de CH₄ em pecuária a pasto, visto que quanto maior a digestibilidade do alimento menor a perda de energia na forma de metano pelo animal. Isso poderia justificar os resultados encontrados neste trabalho, pois animais do sistema DEG com baixa digestibilidade consumiram menos, porém a CH₄GD não apresentou diferença comparado com os demais sistemas. Entretanto pode-se observar uma menor DIV, e maiores valores de FDN e FDA para o DEG (Tabela 11). Segundo Hristov et al. (2013b) o aumento da qualidade ou digestibilidade da forragem aumenta a eficiência de produção e consequentemente a energia gasta na forma de metano diminui, como observado neste trabalho (Tabelas 11 e 14) os sistemas IAL e SML apresentaram melhores valores de DIV e YM.

Estratégias de manejo que melhoram a eficiência alimentar ou a produtividade, usando forragens de melhor qualidade e animais de alta produção, podem reduzir as emissões de metano por unidade de produto (OLIVEIRA SILVA et al., 2017; PATRA, 2012). Sendo assim, a intensificação dos sistemas de produção a pasto pode diminuir a intensidade de emissão, pois nestes sistemas ocorre um aumento de carne produzida, diluindo o potencial de metano emitido. Segundo Soussana e Lemaire (2014) a intensificação das pastagens de forma sustentável deve

sempre buscar a maximização de três elementos (considerando animal, planta e solo) que são: relação entre o C ingerido e o retornado ao solo, relação entre a qualidade da forragem/aumento da digestibilidade e a emissão de CH₄ entérico, e relação entre a taxa de lotação animal e a minimização das emissões de CH₄, N₂O na urina e lixiviação de nitrato.

Cardoso et al. (2016) e Mazzetto et al. (2015) simularam cenários brasileiros de produção a pasto diferenciando-os através de níveis de intensificação e reportaram uma redução na emissão de GEE para sistemas mais intensivos em comparação com sistemas degradados. Em ambos trabalhos as emissões de GEE foram calculadas considerando o ciclo completo de produção, havendo uma redução de até 50% nas intensidades de emissão de CH₄, N₂O e CO₂, além disso houve uma redução da área utilizada para garantir uma mesma produção.

A intensificação de sistemas de produção de carne bovina requer menos tempo e área para obtenção do produto final, evitando a abertura de novas áreas de florestas (CARDOSO et al., 2016; MAZZETTO et al., 2015). Essa intensificação pode ser alcançada através do melhoramento de pastagens e do melhor manejo animal que reflete diretamente na intensidade de emissão do sistema, podendo reduzir as emissões de GEE por unidade de produto entre 2 a 57% (MAZZETTO et al., 2015). Segundo Oliveira Silva et al. (2016) e Oliveira (2015) a recuperação de pastos degradados apresenta o maior potencial de mitigação de GEE devido ao sequestro de carbono nos solos. Em relação ao metano entérico, a diferença na emissão entre os sistemas produtivos está na composição do rebanho, principalmente no maior número de vacas e menor tempo de vida dos animais até o abate (CARDOSO et al., 2016; MAZZETTO et al., 2015). Dick, Da Silva e Dewes (2015) reportaram valores de CH₄PV_m 60% menores para sistemas intensivos em comparação com sistemas extensivos de produção de carne bovina, sendo o principal responsável o melhor desempenho animal recebendo um pasto de melhor qualidade.

No presente trabalho, as intensidades de emissão calculadas pelo RendG apresentaram diferenças, mostrando que o DEG emite mais g CH₄/g carc. e/ou mais kg CO₂-eq./kg carc. que o SAL, e os demais não diferem entre si, já os cálculos pelo RendC apresentaram apenas uma tendência de maior emissão para o DEG ($P = 0,156$) (Tabela 15). Os sistemas mais intensificados produziram mais kg de carcaça por unidade de área, em pastagens com solos de maior potencial de sequestro de C (FIGUEIREDO et al., 2017; OLIVEIRA SILVA et al., 2017).

6.2. EXPERIMENTO 2

6.2.1. Consumo da dieta

O consumo médio dos animais foi de acordo com o esperado, em torno de 2,4% do peso vivo médio e não apresentou diferenças entre os agrupamentos (Adaptado, *B. taurus* e Heterozigose). Alguns trabalhos avaliando diferentes raças ou grupos genéticos observaram diferenças no consumo de MS, como entre bovinos das raças Angus, Limousin e Belgian Blue em fase de terminação (CUVELIER et al., 2006) e entre Limousin e Angus com maior consumo para a raça Angus (DUTHIE et al., 2018). Diferenças no CMS também foram encontradas por Climaco et al. (2011) avaliando grupos genéticos de bovinos terminados em confinamento, resultando em maior consumo para animais mestiços (Bonsmara x Angus x Nelore) e animais Bonsmara em comparação com animais da raça Tabapuã, essa diferença se explica pela heterose proveniente dos cruzamentos onde os animais apresentam variáveis superiores para desempenho necessitando de uma maior quantidade de alimento ingerido para expressar seu potencial máximo. A seleção direta para características de aumento da produção geralmente resulta em aumento de consumo de alimentos devido aos maiores requerimentos de manutenção e ganho, e consequentemente, um aumento na necessidade de nutrientes e energia dos mesmos (TOLKAMP et al., 2010).

6.2.2. Desempenho animal e produção de carcaça

O aumento da produtividade animal nos sistemas de produção é uma das maneiras mais efetivas de reduzir as emissões de GEE e o melhoramento genético é um dos principais responsáveis para alcançar este resultado. Este melhoramento no potencial genético, proveniente da heterose dos cruzamentos, pode levar a uma redução na intensidade de emissão do sistema (HRISTOV et al., 2013b). Os agrupamentos estabelecidos neste estudo não apresentaram diferenças no consumo, porém observaram-se melhores GPD para alguns grupos. Os rendimentos de carcaça e do ganho também apresentaram diferenças e foram inversamente proporcionais ao GPD, ou seja, grupos que apresentaram maiores ganhos de peso, também apresentaram os piores rendimentos (Tabelas 17, 18 e 19). Por isso é necessário avaliar se a seleção desses animais que apresentam uma conversão alimentar melhor, realmente é convertida em produção de carne até o final de sua vida (WAGHORN e HEGARTY, 2011). Neste estudo observou-se que apenas a classificação pela Heterozigose apresentou diferença na conversão alimentar e isso não interferiu na produção de carcaça. Cundiff (2005) encontrou efeitos da heterose de até 3% nas características de carcaça e carne, e de 3 a 5% para a taxa de

crescimento.

As raças bovinas se diferenciam quanto ao requerimento energético e na eficiência em utilizar a energia para manutenção, porém é necessário um estudo a longo prazo para identificá-la (HRISTOV et al., 2013b). Gregory et al. (1994) avaliaram os efeitos da heterose de cruzamentos de raças de bovinos de corte e encontraram diferenças nas características de desempenho (PV e GPD) e de carcaça (PCQ e AOL), como observado neste trabalho para alguns agrupamentos, com exceção do peso da carcaça que não foi encontrado diferença. Williams et al. (2010), estimando efeitos de heterose em características de carcaça (AOL e EGS), reportaram maiores espessuras de gordura e áreas de olho de lombo do músculo *Longissimus* para cruzamento das raças britânica x zebuína, seguida do cruzamento das raças continental x zebuína em comparação com cruzamentos da raça britânica x britânica, da raça continental x continental, e das raças britânica x continental. Porém a heterose para EGS não foi observada entre os cruzamentos de raças britânica x continental e continental x continental (GREGORY et al., 1994; WILLIAMS et al., 2010), diferentemente deste estudo que encontrou diferenças nos agrupamentos por porcentagem de Adaptado e de Heterozigose. No presente estudo, além desses grupos genéticos, utilizaram-se raças adaptadas (Canchim, Bonsmara e Senepol) que contribuíram para os resultados obtidos. Acredita-se que a endogamia (consanguinidade) em determinada raça aumente em torno de 0,5% por geração, independentemente do tamanho populacional (CUNDIFF, 2005).

6.2.3. Metano entérico

Existe uma variação genética na emissão de metano tanto no rebanho de bovinos de corte (DONOGUE et al., 2016) quanto em bovinos de leite (GARNSWORTHY et al., 2011), e com isso há um potencial do uso da seleção genética, explorado em alguns trabalhos, com objetivo de reduzir a emissão de metano em ruminantes. A maioria dos trabalhos mostra que os efeitos na emissão de GEE, através do uso de diferentes raças ou grupos genéticos de bovinos, são explorados de maneira indireta, como a melhora da produtividade dos animais refletindo assim na intensidade de emissão (PRYCE e BELL, 2017; WAGHORN e HEGARTY, 2011; WALL; SIMM; MORAN, 2010). Através da emissão em relação ao ganho de peso diário (Tabela 22) nota-se a diferença oriunda do efeito indireto no GPD dos animais.

Ao considerar a diferença entre raças é importante levar em conta as características que influenciam a produção de metano, como o consumo e a energia bruta ingerida (DUTHIE et al., 2015), porém neste trabalho não houve influência do consumo na emissão dos animais nos diferentes tratamentos. A seleção genética tem um impacto positivo na redução da emissão de

GEE, principalmente pela diminuição da intensidade de emissão, porém é importante avaliar essa resposta em longo prazo considerando aspectos produtivos e ambientais (PRYCE e BELL, 2017). Pois apesar de animais com maior porcentagem de Heterozigose (animais classificados como 3H) apresentarem os melhores resultados em desempenho (PFJ, GPD, CA e EA), também apresentaram os piores resultados relacionados com emissão de GEE (CH₄GD, CO₂GD e CH₂EB).

Em relação à classificação dos animais pela proporção de Adaptado, os animais mais adaptados apresentaram uma menor emissão de CO₂ em relação aos demais (Tabela 20). As raças podem diferir em sua eficiência de utilização dos nutrientes da ração, o que pode ser utilizado como uma opção, em longo prazo, de mitigação de GEE (HRISTOV et al., 2013b). Analisando os resultados aqui reportados, principalmente em relação à classificação pela Heterozigose (Tabela 22), verifica-se que apesar de os animais consumirem a mesma ração na mesma quantidade, eles apresentaram uma diferença na CH₄GD, o que poderia estar relacionado com a melhor eficiência na utilização do alimento intrínseca a cada grupo visto que a energia ingerida gasta na forma de metano (YM) também apresentou diferença. Entretanto Vercoe (1970) não encontrou diferenças na digestibilidade de energia entre bovinos da raça *Bos indicus* e cruzados de raças britânicas, embora a raça zebuína apresentasse uma tendência de menor emissão em comparação com os cruzados. E segundo Tolkamp et al. (2010), tecnologias genéticas/biológicas e a capacidade de registrar mais características que relacionam a eficiência dos nutrientes poderiam ajudar no melhor entendimento dos mecanismos pelos quais os animais utilizam os nutrientes disponíveis, e assim avaliar as diferenças entre as raças neste aproveitamento.

Duthie et al. (2015), mensurando metano em câmaras respirométricas, em bovinos cruzados (Limousin) e puros (Luing), e na raça Charolês e Luing (DUTHIE et al., 2017), não identificaram diferenças entre as raças nas variáveis de metano em g/dia, g/kgCMS e YM. Já Roehe et al. (2016) e Rooke et al. (2014) encontraram diferenças na CH₄GD ($P = 0,032$), com maior emissão para cruzados da raça Angus em comparação com cruzados da raça Limousin, porém não observaram diferenças nas variáveis CH₄CMS e YM. Roehe et al. (2016) avaliaram também a relação arqueias:bactérias entre as raças e não associaram com a diferença na emissão de metano, diferentemente de King et al. (2011) que reportaram diferenças entre raças leiteiras de bovinos (Holandesa e Jersey) influenciadas pela população de metanogênicas no rúmen.

Dick, Da Silva e Dewes (2015) avaliando o ciclo de vida em sistemas extensivo e intensivo de produção de carne bovina, mostraram que 97% do total de emissão de GEE em

relação ao ganho de peso vivo dos animais são provenientes da fermentação entérica, sendo aproximadamente 62% do total emitido relativo às categorias animais que constituem o plantel, pois o sistema melhorado e intensivo no trabalho citado era composto por um rebanho com melhores índices produtivos. Já Cardoso et al. (2016) utilizaram como raças bovinas, no cenário considerado mais intensivo, animais Nelore ou cruzados com os melhores índices produtivos, e isso refletiu na intensidade de emissão, reduzindo 67% em relação ao cenário sem uso de tecnologia. Neste estudo encontramos uma redução de 20% e 17% na intensidade de emissão calculada pelo RenC (IERC) dos grupos 2H e 3H, respectivamente em relação ao grupo 1H. Esta redução mostra que o agrupamento com animais de 81,25% e 100% de Heterozigose emitiram menos kg CO₂-eq/kg carc. que animais com 50% e 62,5%. A maioria dos trabalhos que reportaram diferentes intensidades de emissão (kg CO₂-eq/kg carc.) entre os tratamentos em bovinos foi decorrente da maior produção de carne, ou seja, da diferença no peso de carcaça (PCQ), porém o presente estudo não apresentou diferença no PCQ dentro dos agrupamentos (Adaptado, *B. taurus* e Heterozigose). No entanto para a classificação da Heterozigose houve diferença na intensidade de emissão (IERC) como dito anteriormente. Isso mostra que determinados grupos genéticos poderiam apresentar efeitos diretos na emissão de metano entérico.

7. CONCLUSÃO

Sistemas bem manejados e intensificados de produção bovina a pasto produzem mais carne por unidade de área. O sistema degradado apresenta intensidades de emissão calculadas pelo rendimento do ganho maiores comparadas com o sistema de sequeiro de alta lotação. Considerando exclusivamente as variáveis produtivas relacionadas às emissões de CH₄ não é possível diferenciar os sistemas mais intensificados a pasto. Uma visão mais ampla dos sistemas de produção é necessária para esclarecer os efeitos da intensificação no balanço de carbono, considerando também as emissões de CO₂ e N₂O decorrentes das adubações, o sequestro de carbono das pastagens, a ocupação de menor área e o desmatamento evitado.

Cruzamentos comerciais de raças de bovinos de corte utilizados neste estudo, com 100% de Heterozigose, podem aumentar a produtividade de um sistema e com 81,25% de Heterozigose podem apresentar uma melhor eficiência na utilização dos nutrientes da ração mostrando uma redução da energia bruta ingerida perdida na forma de metano. Para obter uma menor intensidade de emissão calculada pelo rendimento de carcaça deve-se utilizar cruzamentos com mais de 81,25% em comparação com cruzamentos abaixo de 62,5% de Heterozigose. Para produzir carcaças com maior rendimento cárneo e menor acabamento de gordura deve-se utilizar animais 2H com 81,25% de Heterozigose.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ambos os métodos de mensuração de metano entérico utilizados, técnica do gás traçador SF₆ e cocho automatizado (GreenFeed), são capazes de fornecer resultados de emissão confiáveis e precisos, porém alguns pontos positivos e negativos são importantes destacar:

Técnica do gás traçador SF₆:

- Positivos: técnica bem consolidada, é possível coletar de qualquer animal adaptado, coleta do gás ocorre durante o dia todo, avaliação em ambientes naturais (pasto).
- Negativos: necessidade do uso de aparatos calibrados (cabresto e canga) no animal com risco de quebra e perda de amostra, necessidade da análise em cromatografia após coleta, preparação da cápsula com o gás traçador SF₆.

Cochos automatizados:

- Positivos: não necessita de nenhum aparato no animal, não necessita de análise em cromatografia, um cocho é capaz de avaliar vários animais, transmissão em tempo real dos dados.
- Negativos: necessidade de fonte de energia no local de coleta, animais precisam se adaptar ao cocho que permanece em lugar fixo, utilização de alimento em pellets para atrair o animal, necessidade de o animal ir ao cocho ao longo do dia, pode ocorrer dominância entre os animais.

Em relação ao custo da implementação das metodologias, o uso de cochos automatizados possui um custo inicial menor em comparação com a técnica do SF₆, devido a necessidade da compra de cromatógrafo para as análises. Mas a utilização a longo prazo faz com que as técnicas tenham um custo parecido considerando a mesma quantidade de animais avaliados.

Apesar dos experimentos reportados utilizarem diferentes sistemas de produção, diferentes dietas, diferentes raças de bovinos e diferentes metodologias de mensuração de metano, a Tabela 23 é apresentada, sem objetivo de comparação, com os valores médios de desempenho e metano dos sistemas a pasto e em confinamento encontrados neste trabalho nas condições experimentais descritas anteriormente.

Tabela 23 - Valores médios das variáveis de desempenho e relacionadas ao metano, do período mensurado, dos sistemas a pasto e em confinamento.

Variáveis ¹	Sistema de Produção	
	Pasto	Confinamento
GPD, kg/d	0,479	1,757
CMS, kg/d	7,337	10,47
IDA, dias	876	727
PFJ, kg	423,0	514,2
PCQ, kg	277,8	283,2
RendC, %	55,20	55,15
RendG, %	65,70	70,84
EGS, mm	7,98	6,21
AOL, cm ²	62,1	70,0
CH ₄ GD, g/d	188,4	165,3
CH ₄ KA, kg/ano	68,78	60,32
CH ₄ PVm, g/kg	0,451	0,372
CH ₄ PMet, g/kg	2,037	1,708
CH ₄ GPD, g/kg	422,3	98,20
CH ₄ CMS, g/kg	25,76	16,21
CH ₄ EB, MJ/d	10,48	9,190
YM, EBCH ₄ /EBI	8,193	4,912
IERc, CO ₂ -eq./carc.	14,98	3,714
IERg, CO ₂ -eq./carc.	12,85	2,916

¹GPD: ganho de peso diário, CMS: consumo de matéria seca, IDA: idade dos animais em dias no abate, PFJ: peso final em jejum, PCQ: peso da carcaça quente, EGS: espessura de gordura subcutânea, AOL: área do músculo *longissimus*, CH₄GD: emissão de metano em g/dia, CH₄KA: emissão de metano em kg/ano, CH₄PVm: emissão de metano em g CH₄/kg de peso vivo médio, CH₄PMet: emissão de metano em g CH₄/kg de peso metabólico, CH₄GPD: emissão de metano em g CH₄/g de ganho de peso médio diário, CH₄CMS: emissão de metano em g CH₄/kg de consumo médio diário de matéria seca, CH₄EB: emissão de metano em MJ CH₄/animal por dia, YM: porcentagem de EB perdida na forma de metano, IERc: intensidade de emissão em kg CO₂ eq./kg carcaça calculado pelo rendimento de carcaça, IERg: intensidade de emissão em kg CO₂ eq./kg carcaça calculado pelo rendimento do ganho.

É difícil compararmos e definirmos qual melhor sistema, pasto ou confinamento, a ser utilizado, devido aos vários fatores envolvidos como, principalmente, raça dos bovinos, dietas, emissões provenientes de outros processos ou manejos, entre outros. Ao considerarmos a emissão de metano entérica média em g/dia encontrada no estudo a pasto e em confinamento,

e multiplicarmos pela idade média, em dias, dos animais, encontramos uma intensidade de emissão de 12,48 kg CO₂-eq./kg carcaça no pasto e 8,91 kg CO₂-eq./kg carcaça no confinamento, considerando o peso médio de carcaça. Para se comparar esses sistemas (pasto e confinamento) alguns pontos positivos e negativos são importantes:

Pasto:

- Positivos: capacidade de sequestro de carbono dos solos, maior distribuição dos dejetos animais nos pastos, menor emissão de N₂O dos dejetos, redução na emissão com processos de fabricação de alimentos.
- Negativos: maior emissão de N₂O com o uso de adubação, necessidade de maiores áreas para a produção, maior tempo gasto até abater os animais, maior pressão em áreas de florestas.

Confinamento:

- Positivos: menor emissão pelos animais devido ao menor tempo de vida, maior ganho de peso diário, menor perda energética na forma de metano pela dieta mais concentrada.
- Negativos: maior concentração de dejetos animais, maior emissão com processos de fabricação de ração como processamento de grãos, maior custo com alimentação.

Para definir qual sistema de produção, grupo genético bovino, tipo de dieta, nível de intensificação, entre outros, utilizar, é importante verificar os que melhor se encaixam em seu objetivo, em sua propriedade, em seu ambiente, em seu manejo e definir qual será o destino (mercado) do seu produto final (ALENCAR, 2004). Os impactos ambientais causados pela atividade serão minimizados ou até neutralizados se o planejamento e a execução forem adequados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. **Perfil da pecuária no Brasil – Relatório Anual 2017**. Disponível em: <<http://abiec.siteoficial.ws/images/upload/sumario-pt-010217.pdf>>. Acesso em: 08 mai. 2018.
- ALEMU, A. W. et al. Greenhouse gas emission of Canadian cow-calf operations: A whole-farm assessment of 295 farms. **Agricultural Systems**, v. 151, p. 73-83, 2017.
- ALENCAR, M. M. Utilização de cruzamentos industriais na pecuária de corte tropical. In: SIMPÓSIO SOBRE BOVINOCULTURA DE CORTE, v. 5, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 149-170.
- ALVES, T. P.; DALL-ORSOLETTA, A. C.; RIBEIRO FILHO, H. M. N. The effects of supplementing *Acacia mearnsii* tannin extract on dairy cow dry matter intake, milk production, and methane emission in a tropical pasture. **Tropical Animal Health and Production**, v. 49, p. 1663-1668, 2017.
- ANDRADE, E. A. et al. *Short communication*: Herbage intake, methane emissions and animal performance of steers grazing dwarf elephant grass v. *dwarf* elephant grass and peanut pastures. **Animal**, v. 10, n. 10, p. 1684-1688, 2016.
- ANDREINI, E. M. et al. Evaluation of an enteric methane emissions measurement system for cattle. **Journal of Animal Science**, v. 95, p. 2481-2487, 2017.
- AOAC - Association of official Analytical chemistry. **Official Methods of Analyses**, v. 1, 15. ed., p. 72-74, 1990.
- AZEVÊDO, J. A. G. et al. Predição de consumo de matéria seca por bovinos de corte em confinamento. In: VALADARES FILHO, S. C. et al. (ed.). **Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados: BR-Corte**, 2. ed., cap. 1, p. 1-12, 2010.
- AZEVÊDO, J. A. G. et al. Regulação e predição de consumo de matéria seca. In: VALADARES FILHO, S. C. et al. (ed.). **Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados: BR-Corte**, 3. ed., cap. 2, p. 15-43, 2016.
- BALIEIRO NETO, G. et al. Monensin and protein supplements on methane production and rumen protozoa in bovine fed low quality forage. **South African Journal of Animal Science**, v. 39, n. 1, p. 280-283, 2009.
- BEAUCHEMIN, K. A. et al. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, p. 21-27, 2008.
- BEAUCHEMIN, K. A. et al. Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions from cattle. **Journal of Animal Science**, v. 85, p. 1990-1996, 2007.
- BEAUCHEMIN, K. A.; MCGINN, S. M. Methane emissions from beef cattle: Effects of fumaric acid, essential oil, and canola oil. **Journal of Animal Science**, v. 84, p. 1489-1496, 2006.

BENCHAAAR, C. Diet supplementation with cinnamon oil, cinnamaldehyde, or monensin does not reduce enteric methane production of dairy cows. **Animal**, v. 10, n. 3, p. 418-425, 2016.

BERENDS, H. et al. Evaluation of the SF₆ tracer technique for estimating methane emission rates with reference to dairy cows using a mechanistic model. **Journal of Theoretical Biology**, v. 353, p. 1-8, 2014.

BERNDT, A. Estratégias nutricionais para redução de metano. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE NUTRIÇÃO ANIMAL – CLANA, 4., 2010, Estância de São Pedro, SP. **Anais...** Colégio Brasileiro de Nutrição Animal (Eds.), 2010. p. 295-306.

BERNDT, A., et al. Guidelines for use of sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique to measure enteric methane emissions from ruminants. M. G. Lambert, ed. **New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre**, New Zealand. 166p., 2014.

BERNDT, A., TOMKINS, N. W. Measurement and mitigation of methane emissions from beef cattle in tropical grazing systems: a perspective from Australia and Brazil. **Animal**, v. 7, n. s2, p. 363-372, 2013.

BHATTA, R. Comparison of *In vivo* and *In vitro* techniques for methane production from ruminant diets. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 20, n. 7, p. 1049-1056, 2007.

BOADI, D., et al. 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. Methane production from dairy and beef heifers fed forages differing in nutrient density using the sulphur hexafluoride (SF₆) tracer gas technique. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 82, n. 2, p. 201-206, 2002.

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, 2002.

BODAS, R. et al. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. **Animal Feed Science and Technology**, v. 176, p. 78-93, 2012.

BROUČEK, J. Methods of methane measurement in ruminants. **Slovak Journal of Animal Science**, v. 47, n. 1, p. 51-60, 2014.

BUDDLE, B. M. et al. Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. **The Veterinary Journal**, v. 188, p. 11-17, 2011.

CAETANO, M. et al. Efficacy of methane-reducing supplements in beef cattle rations. **Animal Production Science**, v. 56, p. 276-281, 2016.

CAIT - Climate Analysis Indicators Tool. **CAIT Climate Data Explorer**. Disponível em: <<http://cait.wri.org/historical>>. Acesso em 23 sep. 2018.

CANESIN, R. C. et al. Effects of supplementation frequency on the ruminal fermentation and

enteric methane production of beef cattle grazing in tropical pastures. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 43, n. 11, p. 590-600, 2014.

CARDOSO, A. S. et al. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, v. 143, p. 86-96, 2016.

CARO, D.; KEBREAB, E.; MITLOEHNER, F. M. Mitigation of enteric methane emissions from global livestock systems through nutrition strategies. **Climatic Change**, v. 137, p. 467-480, 2016.

CARVALHO, I. P. C. et al. Performance and methane emissions of Nellore steers grazing tropical pasture supplemented with lipid sources. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 12, p. 760-767, 2016.

CASTRO, G. H. F. et al. Características produtivas, agrônômicas e nutricionais do capim-tanzânia em cinco diferentes idades ao corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n. 3, p. 654-666, 2010.

CLARK, H.; KELLIHER, F.; PINARES-PATIÑO, C. Reducing CH₄ emissions from grazing ruminants in New Zealand: challenges and opportunities. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v. 24, n. 2, p. 295-302, 2011.

CLÍMACO, S. M. et al. Desempenho e características de carcaça de bovinos de corte de quatro grupos genéticos terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1562-1567, 2011.

COTA, O. L. et al. Methane emission by Nellore cattle subjected to different nutritional plans. **Tropical Animal Health and Production**, v. 46, p. 1229-1234, 2014.

COTTLE, D. J. et al. Estimating daily methane production in individual cattle with irregular feed intake patterns from short-term methane emission measurements. **Animal**, v. 9, n. 12, p. 1949-1957, 2015.

COTTLE, D. J.; NOLAN, J. V.; WIEDEMANN, S. G. Ruminant enteric methane mitigation: a review. **Animal Production Science**, v. 51, p. 491-514, 2011.

CUNDIFF, L. V. Beef Cattle: Breeds and Genetics. In: POND, W. G.; BELL, A. W. **Encyclopedia of Animal Science**, New York, NY, p. 74-76, 2005.

CUVELIER, C. et al. Performance, slaughter characteristics and meat quality of young bulls from Belgian Blue, Limousin and Aberdeen Angus breeds fattened with a sugar-beet pulp or a cereal-based diet. **Animal Science**, v. 82, p. 125-132, 2006.

DANIELSSON, R. et al. Evaluation of a gas in vitro system for predicting methane production in vivo. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 11, p. 8881-8894, 2017.

DEIGHTON, M. H. et al. A simple method for pre-calibration storage of sulphur hexafluoride permeation tubes. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166-167, p. 198-200, 2011.

DEIGHTON, M. H. et al. Declining sulphur hexafluoride permeability of

polytetrafluoroethylene membranes causes overestimation of calculated ruminant methane emissions using the tracer technique. **Animal Feed Science and Technology**, v. 183, p. 86-95, 2013.

DEIGHTON, M. H. et al. A modified sulphur hexafluoride tracer technique enables accurate determination of enteric methane emissions from ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, p. 47-63, 2014.

DEMARCHI, J. J. A. A. et al. Effect of seasons on enteric methane emissions from cattle grazing *Urochloa brizantha*. **Journal of Agricultural Science**, v. 8, n. 4, p. 1-10, 2016.

DERAMUS, H. A. et al. Methane emissions of beef cattle on forages: efficiency of grazing management systems. **Journal of Environmental Quality**, v. 32, p. 269-277, 2003.

DICK, M.; DA SILVA, M. A.; DEWES, H. Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 426-434, 2015.

DONOGUE, K. A. et al. Genetic and phenotypic variance and covariance components for methane emission and postweaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, v. 94, p. 1438-1445, 2016.

DOREAU, M. et al. Comparison of 3 methods for estimating enteric methane and carbon dioxide emission in nonlactating cows. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 4, p. 1559-1569, 2018.

DORICH, C. D. et al. *Short communication*: Use of a portable, automated, open-circuit gas quantification system and the sulfur hexafluoride tracer technique for measuring enteric methane emissions in Holstein cows fed ad libitum or restricted. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 4, p. 2676-2681, 2015.

DUTHIE, C. -A. et al. Methane emissions from two breeds of beef cows offered diets containing barley straw with either grass silage or brewers' grains. **Animal**, v. 9, n. 10, p. 1680-1687, 2015.

DUTHIE, C. -A. et al. The effect of dietary addition of nitrate or increase in lipid concentrations, alone or in combination, on performance and methane emissions of beef cattle. **Animal**, v. 12, n. 2, p. 280-287, 2018.

DUTHIE, C. -A. et al. The impact of divergent breed types and diets on methane emissions, rumen characteristics and performance of finishing beef cattle. **Animal**, v. 11, n. 10, p. 1762-1771, 2017.

EBERT, P. J. et al. Effect of condensed tannin extract supplementation on growth performance, nitrogen balance, gas emissions, and energetic losses of beef steers. **Journal of Animal Science**, v. 95, p. 1345-1355, 2017.

ECKARD, R. J.; GRAINGER, C.; KLEIN, C. A. M. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. **Livestock Science**, v. 130, p. 47-56, 2010.

ELLIS, J. L. et al. Prediction of methane production from dairy and beef cattle. **Journal of**

Dairy Science, v. 90, n. 7, p. 3456-3467, 2007.

EUCLIDES FILHO, K. **O melhoramento genético e os cruzamentos em bovino de corte**. Campo Grande: EMBRAPA-CNPGC - Documentos, v. 63, 35 p., 1997.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/EI/visualize>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Livestock's long shadow – Environmental issues and options**. Rome, FAO, 390p., 2006.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Livestock solutions for climate change**. Rome, FAO, 8p. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/I8098EN/i8098en.pdf>>. 2017.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World Livestock 2011-Livestock in food security**. Rome, FAO, 115p., 2011.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Tackling climate change through livestock. A global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Rome, FAO, 115p., 2013.

FIGUEIREDO, E. B. et al. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 420-431, 2017.

FIORENTINI, G. et al. Effect of lipid sources with different fatty acid profiles on the intake, performance, and methane emissions of feedlot Nellore steers. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 1613-1620, 2014.

FLESCHE, T. K. et al. Methane emissions from cattle grazing under diverse conditions: An examination of field configurations appropriate for line-averaging sensors. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. In press, 2018.

FROTA, M. N. L. et al. Enteric methane in grazing beef cattle under full sun, and in a silvopastoral system in the Amazon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 11, p. 1099-1108, 2017.

GAO, Z. et al. Methane emissions from a dairy feedlot during the fall and winter seasons in Northern China. **Environmental Pollution**, v. 159, p. 1183-1189, 2011.

GARNSWORTHY, P. C. et al. Variation among individual dairy cows in methane measurements made on farm during milking. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 6, p. 3181-3189, 2012.

GERBER, P. J. et al. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. **Animal**, v. 7, n. s2, p. 220-234, 2013.

GIDLUND, H. et al. Effects of soybean meal or canola meal on milk production and methane

emissions in lactating dairy cows fed grass silage-based diets. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 11, p. 8093-8106, 2015.

GOERING, H. K.; VAN SOEST, P. J. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures and some applications). **Agricultural Handbook 379**, USDA, Washington, DC, 20 p., 1970.

GRAINGER, C. et al. Methane emissions from dairy cows measured using the sulfur hexafluoride (SF₆) tracer and chamber techniques. **Journal of Dairy Science**, v. 90, p. 2755–2766, 2007.

GREGORY, K. E. et al. Breed effects and retained heterosis for growth, carcass, and meat traits in advanced generations of composite populations of beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 72, p. 833-850, 1994.

HAISAN, J. et al. The effects of feeding 3-nitrooxypropanol on methane emissions and productivity of Holstein cows in mid lactation. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 5, p. 3110-3119, 2014.

HAMMOND, K. J. et al. Methane emissions from cattle: Estimates from short-term measurements using a GreenFeed system compared with measurements obtained using respiration chambers or sulphur hexafluoride tracer. **Animal Feed Science and Technology**, v. 203, p. 41-52, 2015.

HAMMOND, K. J. et al. Review of current *in vivo* measurement techniques for quantifying enteric methane emission from ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 219, p. 13-30, 2016.

HAMMOND, K. J. et al. The variation in methane emissions from sheep and cattle is not explained by the chemical composition of ryegrass. **Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production**, v. 69, p. 174–178, 2009.

HEGARTY, R. S. Applicability of short-term emission measurements for on-farm quantification of enteric methane. **Animal**, v. 7, n. s2, p. 401-408, 2013.

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

HERRERO, M. et al. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. **Nature Climate Change**, v. 6, p. 452-461, 2016.

HILL, J. et al. Measuring methane production from ruminants. **Trends in Biotechnology**, v. 34, n. 1, p. 26-35, 2016.

HRISTOV, A. N. et al. An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. **PNAS – Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 112, n. 34, p. 10663-10668, 2015a.

HRISTOV, A. N. et al. *Short communication*: Comparison of the GreenFeed system with the sulfur hexafluoride tracer technique for measuring enteric methane emissions from dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 7, p. 5461-5465, 2016.

HRISTOV, A. N. et al. SPECIAL TOPICS - Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. **Journal of Animal Science**, v. 91, p. 5045-5069, 2013a.

HRISTOV, A. N. et al. SPECIAL TOPICS - Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. **Journal of Animal Science**, v. 91, p. 5095-5113, 2013b.

HRISTOV, A. N. et al. *Symposium review*: Uncertainties in enteric methane inventories, measurement techniques, and prediction models. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 7, p. 1-20, 2018.

HRISTOV, A. N. et al. The use of an automated system (GreenFeed) to monitor enteric methane and carbon dioxide emissions from ruminant animals. **Journal of Visualized Experiments**, v. 103, n. e52904, p. 1-8, 2015b.

HULSHOF, R. B. A. et al. Dietary nitrate supplementation reduces methane emission in beef cattle fed sugarcane-based diets. **Journal of Animal Science**, v. 90, p. 2317-2323, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006, Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação**. IBGE: Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006: Resultados Preliminares**. IBGE: Rio de Janeiro, p.1-146, 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SIDRA**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Policymakers Summary. In: HOUGHTON, J. T.; JENKINS, G. J.; EPHRAUMS, J. J. (eds.). **Climate Change: the IPCC Scientific Assessment**, Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. XI-XXXIV, 1990.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In: STOCKER, T. F. et al. (eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the IPCC**, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 27 p., 2013.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. EDENHOFER, O. et al. (eds.). **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the IPCC**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1435p., 2014.

JANSSEN, P. H. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. **Animal Feed Science and Technology**, v. 160, p. 1-22, 2010.

JOBLIN, K. N. Ruminant acetogens and their potential to lower ruminant methane emissions. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, n. 8, p. 1307–1314, 1999.

JOHNSON, D. E. 'Modelling Global Methane from Livestock: Biological and Nutritional Control'. **Final Report to NASA**. Unpublished, Department of Animal Sciences, Colorado State University, 1992.

JOHNSON, K. et al. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF₆ tracer technique. **Environmental Science & Technology**, v. 28, p. 359–362, 1994.

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

JOHNSON, D. E.; WARD, G. M. Estimates of animal methane emissions. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 42, p. 133-141, 1996.

JONES, F. M. et al. Methane emissions from grazing Angus beef cows selected for divergent residual feed intake. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166-167, p. 302-307, 2011.

JONKER, A. et al. Enteric methane and carbon dioxide emissions measured using respiration chambers, the sulfur hexafluoride tracer technique, and a GreenFeed head-chamber system from beef heifers fed alfalfa silage at three allowances and four feeding frequencies. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 10, p. 4326-4337, 2016.

KELLY, J. M. et al. Development of a mobile, open-circuit indirect calorimetry system. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 74, p. 65-71, 1994.

KING, E. E. et al. Differences in the rumen methanogen populations of lactating Jersey and Holstein dairy cows under the same diet regimen. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 77, n. 16, p. 5682-5687, 2011.

KNAPP, J. R. et al. *Invited review*: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 6, p. 3231-3261, 2014.

KUMAR, S. et al. Changes in methane emission, rumen fermentation in response to diet and microbial interactions. **Research in Veterinary Science**, v. 94, p. 263-268, 2013.

LAGE, J. F. et al. Methane emissions and growth performance of young Nellore bulls fed crude glycerine- v. fibre-based energy ingredients in low or high concentrate diets. **Journal of Agricultural Science**, v. 154, p. 1280-1290, 2016.

LARIOS, A. D. et al. Challenges in the measurement of emissions of nitrous oxide and methane from livestock sector. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 15, p. 285-297, 2016.

LASSEY, K. R. et al. Enteric methane emission rates determined by the SF₆ tracer technique: Temporal patterns and averaging periods. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166-167, p. 183-191, 2011.

LEGESSE, G. et al. Water use intensity of Canadian beef production in 1981 as compared to 2011. **Science of the Total Environment**, v. 619-620, p. 1030-1039, 2018.

LOPES, J. C. et al. Effect of 3-nitrooxypropanol on methane and hydrogen emissions, methane isotopic signature, and ruminal fermentation in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 7, p. 5335-5344, 2016.

MANAFIAZAR, G.; ZIMMERMAN, S.; BASARAB, J. A. Repeatability and variability of short-term spot measurement of methane and carbon dioxide emissions from beef cattle using GreenFeed emissions monitoring system. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 91, n. 1, p. 118-126, 2015.

MAZZETTO, A. M. et al. Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system. **Livestock Science**, v. 175, p. 101–112, 2015.

MCGINN, S. M. et al. Assessment of the sulfur hexafluoride (SF₆) tracer technique for measuring enteric methane emissions from cattle. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, p. 1686-1691, 2006.

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change – Volume III/** Ministry of Science, Technology and Innovation. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 333 p.: il., 2016.

MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. MCTIC: Brasília, DF, 3^oed., 85p., 2016.

MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. MCTIC – “Infográfico”: Brasília, DF, 4^oed., 2018.

MENDES, E. D. M. et al. Validation of a system for monitoring feeding behavior in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 9, p. 2904-2910, 2011.

MENEZES, A. C. B. et al. Does a reduction in dietary crude protein content affect performance, nutrient requirements, nitrogen losses, and methane emissions in finishing Nellore bulls? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 223, p. 239-249, 2016.

MERCADANTE, M. E. Z. et al. Relationship between residual feed intake and enteric methane emission in Nellore cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 44, n. 7, p. 255-262, 2015.

MONTES, F. et al. SPECIAL TOPICS - Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. **Journal of Animal Science**, v. 91, p. 5070-5094, 2013.

MOORE, J. E.; MOTT, G. O. Recovery of residual organic matter from in vitro digestion of forages. **Journal of Dairy Science**, v. 57, n. 10, p. 1258-1259, 1974.

MORAES, L. E. et al. Prediction of enteric methane emissions from cattle. **Global Change Biology**, v. 20, p. 2140–2148, 2014.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6, 1952, Pennsylvania. **Proceedings...** Pennsylvania: State College Press, v. 2, p. 1380-1385, 1952.

MOURÃO, G. B. et al. Non-additive genetic effects on weights and performance of a Brazilian *Bos taurus* x *Bos indicus* beef composite. **Genetics and Molecular Research**, v. 7, n. 4, p. 1156-1163, 2008.

MÜNGER, A.; KREUZER, M. Absence of persistent methane emission differences in three breeds of dairy cows. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, p. 77-82, 2008.

MURPHY, E. et al. Water footprinting of pasture-based farms; beef and sheep. **Animal**, v. 12, n. 5, p. 1068-1076, 2018.

NASCIMENTO, C. F. M. et al. Methane emission of cattle fed *Urochloa brizantha* hay harvested at different stages. **Journal of Agricultural Science**, v. 8, n. 1, p. 163-174, 2016.

NRC. Nacional Research Council. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th ed. Washington: National Academies Press, 381 p., 2001.

O'MARA, F. P. The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the future. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166-167, p. 7-15, 2011.

OENEMA, O.; KLEIN, C.; ALFARO, M. Intensification of grassland and forage use: driving forces and constraints. **Crop & Pasture Science**, v. 65, p. 524-537, 2014.

OLIVEIRA, P. P. A. Gases de efeito estufa em sistemas de produção animal brasileiros e a importância do balanço de carbono para a preservação ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 623-634, 2015.

OLIVEIRA, P. P. A. et al. **Recomendação da sobressemeadura de aveia forrageira em pastagens tropicais ou subtropicais irrigadas**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste – Comunicado Técnico, v. 61, 7 p., 2005.

OLIVEIRA, P. P. A. et al. The effect of grazing system intensification on the growth and meat quality of beef cattle in the Brazilian Atlantic Forest biome. **Meat Science**, v. 139, p. 157-161, 2018.

OLIVEIRA, S. G. et al. Effect of tannin levels in sorghum silage and concentrate supplementation on apparent digestibility and methane emission in beef cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v. 135, p. 236-248, 2007.

OLIVEIRA SILVA, R. et al. Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. **Nature Climate Change**, v. 6, p. 493–497, 2016.

OLIVEIRA SILVA, R. et al. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 201–211, 2017.

OSS, D. B. et al. An evaluation of the face mask system based on short-term measurements compared with the sulfur hexafluoride (SF₆) tracer, and respiration chamber techniques for measuring CH₄ emissions. **Animal Feed Science and Technology**, v. 216, p. 49–57, 2016.

OWENS, F. N.; GOETSCH, A. L. **Ruminal fermentation**. In: CHURCH, D. C. (Ed.). The ruminant animal digestive physiology and nutrition. 5.ed. New Jersey: Englewood, Cliffs, 1993. p. 145-171.

PATRA, A. K. Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: a synthesis of current research and future directions. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, p. 1929–1952, 2012.

PATRA, A. K. Recent advances in measurement and dietary mitigation of enteric methane emissions in ruminants. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 3, n. 39, p. 1-17, 2016.

PEDREIRA, M. S. et al. Methane emissions and estimates of ruminal fermentation parameters in beef cattle fed different dietary concentrate levels. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 8, p. 592-598, 2013.

PEREIRA, L. G. R., et al. Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v. 28, p. 124-143, 2015.

PICKERING, N. K. et al. Animal board invited review: genetic possibilities to reduce enteric methane emissions from ruminants. **Animal**, v. 9, n. 9, p. 1431-1440, 2015.

PINARES-PATIÑO, C. S.; CLARK, H. Reliability of the sulfur hexafluoride tracer technique for methane emission measurement from individual animals: an overview. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, p. 223–229, 2008.

PINARES-PATIÑO, C. S. et al. Feed intake and methane emissions from cattle grazing pasture sprayed with canola oil. **Livestock Science**, v. 184, p. 7-12, 2016.

PIÑEIRO-VÁZQUEZ, A. T. et al. Intake, digestibility, nitrogen balance and energy utilization in heifers fed low-quality forage and *Leucaena leucocephala*. **Animal Feed Science and Technology**, v. 228, p. 194-201, 2017.

PONTES, L. S. et al. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization. **Agriculture, Ecosystems and Environmental**, v. 253, p. 90-97, 2018.

POSSENTI, R. A. et al. Efeitos de dietas contendo *Leucaena leucocephala* e *Saccharomyces cerevisiae* sobre a fermentação ruminal e a emissão de gás metano em bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 8., p. 1509-1516, 2008.

PRIMAVESI, O. et al. **Técnica do gás traçador SF₆ para medição de campo do metano ruminal em bovinos: adaptações para o Brasil**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste – Documentos, v. 39, 76 p., 2004.

PRYCE, J. E.; BELL, M. J. The impact of genetic selection on greenhouse-gas emissions in Australian dairy cattle. **Animal Production Science**, v. 57, p. 1451-1456, 2017.

RAMIREZ-RESTREPO, C. A. et al. Estimation of methane emissions from local and crossbred beef cattle in Daklak province of Vietnam. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v. 30, n. 7, p. 1054-1060, 2017.

RICCI, P. et al. Evaluation of the laser methane detector to estimate methane emissions from ewes and steers. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 5239–5250, 2014.

RIBEIRO, E. G. et al. Influência da irrigação durante as épocas seca e chuvosa na taxa de lotação, no consumo e no desempenho de novilhos em pastagens de capim-elefante e capim-mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 9, p. 1546-1554, 2008.

RODRIGUES, B. H. N. et al. Produção e composição bromatológica do capim-Tanzânia (*Panicum maximum*) em diferentes idades de rebrotação. **PUBVET**, Londrina, v. 8, n. 8, ed. 257, art. 1700, 2014.

ROEHE, R. et al. Bovine host genetic variation influences rumen microbial methane production with best selection criterion for low methane emitting and efficiently feed converting hosts based on metagenomic gene abundance. **Plos Genetics**, v. 12, n. 2, p. 1-20, 2016.

ROJAS-DOWNING, M. M. et al. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. **Climate Risk Management**, v. 16, p. 145-163, 2017.

ROOKE, J. A. et al. Hydrogen and methane emissions from beef cattle and their rumen microbial community vary with diet, time after feeding and genotype. **British Journal of Nutrition**, v. 112, p. 398-407, 2014.

ROSSI, L. G. et al. Effect of ground soybean and starch on intake, digestibility, performance, and methane production of Nellore bulls. **Animal Feed Science and Technology**, v. 226, p. 38-47, 2017.

SANTOS, E. D. G. et al. Avaliação de pastagem diferida de *Brachiaria decumbens* Stapf: 1. Características químico-bromatológicas da forragem durante a seca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 203-213, 2004.

SANTOS, L. C. et al. Produção e composição química da *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens* submetidas a diferentes adubações. **Ciência Animal Brasileira**, v. 9, n. 4, p. 856-866, 2008.

SAVIAN, J. V. et al. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop–livestock system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 112–119, 2014.

SILVA, F. A. S. et al. Effect of different forage types and concentrate levels on energy conversion, enteric methane production, and animal performance of Holstein x Zebu heifers. **Animal Production Science**, v. 57, n. 10, p. 2042-2050, 2016.

SOUSA, R. S. et al. Composição química de capim-tanzânia adubado com nitrogênio e fósforo.

Revista Brasileira de Zootecnia, v. 39, n. 6, p. 1200-1205, 2010.

SOUSSANA, J. F.; LEMAIRE, G. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 9-17, 2014.

STORM, I. M. L. D. et al. Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants. **Animals**, v. 2, p. 160–183, 2012.

TAPIO, I. et al. The ruminal microbiome associated with methane emissions from ruminant livestock. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 8, n. 7, p. 1-11, 2017.

TOLKAMP, B. et al. Review of nutrient efficiency in different breeds of farm livestock. **Report to DEFRA (IF0183)**, 105 p., 2010.

TOMKINS, N. W.; CHARMLEY, E. Herd-scale measurements of methane emissions from cattle grazing extensive sub-tropical grassland using the open-path laser technique. **Animal**, v. 9, n. 12, p. 2029-2038, 2015.

TROY, S. M. et al. A comparison of methane emissions from beef cattle measured using methane hoods with those measured using respiration chambers. **Animal Feed Science and Technology**, v. 211, p. 227-240, 2016.

TROY, S. M. et al. Effectiveness of nitrate addition and increased oil content as methane mitigation strategies for beef cattle fed two contrasting basal diets. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 4, p. 1815-1823, 2015.

UN – United Nations. **World Population Prospects: The 2017 Revision – Key findings and advance tables**. Disponível em: <https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf>. Acesso em 10 mai. 2018.

USDA - United States Department of Agriculture. **Livestock and poultry: World Markets and Trade**. Foreign Agricultural Service. 2018. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf>. Acesso em 10 mai. 2018.

VELASCO, F. O. **Valor nutricional da *Brachiaria decumbens* em três idades**. 2011. 106 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2011.

VELÁSQUEZ, A. V. et al. Comparative study of some analytical methods to quantify lignin concentration in tropical grasses. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 2018. No prelo.

VELOSO, A. L.de C. **Pastagem irrigada de *Panicum maximum* Jacq cv Tanzânia adubada com fósforo e nitrogênio sobre a produção, valor nutritivo e atributos do solo no norte de Minas Gerais**. 2012. 90 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2012.

VERCOE, J. E. Fasting metabolism and heat increment of feeding in Brahman x British cross cattle. In: SCHURCH, A.; WENK, C. (Ed.). **Energy Metabolism of Farm Animals**, Juris, Zurich – EAAP, v. 13, p. 85-88, 1970.

VLAMING, J. B. et al. The possible influence of intra-ruminal sulphur hexafluoride release rates on calculated methane emissions from cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 87, p. 269-275, 2007.

YOUNG, B. A.; KERRIGAN, B.; CHRISTOPHERSON, R. J. A versatile respiratory pattern analyzer for studies of energy metabolism of livestock. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 55, p. 17-22, 1975.

WAGHORN, G. C.; HEGARTY, R. S. Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166-167, p. 291-301, 2011.

WAGHORN, G. C.; JONKER, A.; MACDONALD, K. A. Measuring methane from grazing dairy cows using GreenFeed. **Animal Production Science**, v. 56, p. 252-257, 2016.

WALL, E.; SIMM, G.; MORAN, D. Developing breeding schemes to assist mitigation of greenhouse gas emissions. **Animal**, v. 4, n. 3, p. 366-376, 2010.

WANG, L. A.; GOONEWARDENE, Z. The use of MIXED models in the analysis of animal experiments with repeated measures data. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 84, n. 1, p. 1-11, 2004.

WARNER, D. et al. Effects of grass silage quality and level of feed intake on enteric methane production in lactating dairy cows. **Journal of Animal Science**, v. 95, p. 3687-3699, 2017.

WARNER, D. et al. Effects of nitrogen fertilisation rate and maturity of grass silage on methane emission by lactating dairy cows. **Animal**, v. 10, n. 1, p. 34-43, 2016.

WILLIAMS, J. L. et al. Estimation of breed and heterosis effects for growth and carcass traits in cattle using published crossbreeding studies. **Journal of Animal Science**, v. 88, p. 460-466, 2010.

WILLIAMS, S. R. O. et al. Background matters with the SF₆ tracer method for estimating enteric methane emissions from dairy cows: A critical evaluation of the SF₆ procedure. **Animal Feed Science and Technology**, v. 170, p. 265-276, 2011.

ZIMMERMAN, P. R. **System for Measuring Metabolic Gas Emissions from Animals**. In: U.S. Patent and Trademark Office (Ed.). U.S. Patent No. US005265618A, 1993.

ZIMMERMAN, P. R.; ZIMMERMAN, S. **Method and system for monitoring and reducing ruminant methane production**. U.S. Patent No. US20090288606 A1, 2012.

APÊNDICE A

Valores médios da qualidade da forragem do sistema IAL por estação, considerando os dois anos de avaliação.

Análise Bromatológica ¹	Estações ²				Média ± DP ³	EPM ⁴	P
	PRI	VER	OUT	INV			
MS, %	20,6 ^a	18,5 ^{ab}	17,3 ^b	20,7 ^a	19,47 ± 3,06	0,437	0,0198
MM, %	9,13 ^b	9,95 ^b	9,89 ^b	11,3 ^a	10,27 ± 1,85	0,237	0,0018
PB, %	14,3	13,7	13,0	16,0	14,6 ± 3,78	0,473	0,1242
EE, %	2,73	2,93	2,03	2,42	2,61 ± 1,13	0,146	0,2191
FDA, %	36,3 ^a	38,4 ^a	38,1 ^a	33,4 ^b	35,9 ± 4,06	0,528	0,0005
FDN, %	68,7 ^a	68,9 ^a	69,0 ^a	58,6 ^b	64,8 ± 7,35	0,919	<,0001
LIG, %	7,04	5,61	7,07	6,26	6,15 ± 2,04	0,266	0,0732
DIV, %	57,9	62,3	61,9	59,3	59,8 ± 6,53	0,810	0,2196
EB, MJ	18,0	17,3	16,8	17,2	17,3 ± 0,57	0,203	0,1857
PMS, kg/ha	5121 ^b	7119 ^a	2417 ^c	1448 ^c	4026 ± 2424	856,9	0,0014

^{a, b, c} Letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste T ($p < 0,05$).

¹MS: matéria seca total, MM: matéria mineral, PB: proteína bruta, FDA: fibra em detergente ácido, FDN: fibra em detergente neutro, Lig: lignina, DIV: digestibilidade in vitro, EE: extrato etéreo, EB: energia bruta, PMS: produção de MS; ²PRI: primavera, VER: verão, OUT: outono, INV: inverno; ³DP: desvio padrão; ⁴EPM: erro padrão médio.

APÊNDICE B

Valores médios da qualidade da forragem do sistema SAL por estação, considerando os dois anos de avaliação.

Análise	Estações ²				Média ± DP ³	EPM ⁴	<i>P</i>
Bromatológica ¹	PRI	VER	OUT	INV			
MS, %	27,1	22,4	23,0	27,2	25,0 ± 6,25	0,922	0,1094
MM, %	9,13 ^b	9,63 ^b	9,67 ^b	10,7 ^a	9,84 ± 1,23	0,181	0,0013
PB, %	11,2	12,4	12,5	11,5	11,9 ± 2,64	0,386	0,5984
EE, %	3,28 ^a	2,86 ^{ab}	2,29 ^{bc}	2,03 ^c	2,59 ± 0,77	0,117	0,0004
FDA, %	38,5 ^{ab}	36,3 ^b	37,7 ^b	40,5 ^a	38,2 ± 3,53	0,526	0,0082
FDN, %	69,8 ^a	69,2 ^a	67,9 ^{ab}	66,6 ^b	68,4 ± 2,91	0,439	0,0272
LIG, %	5,93	6,81	6,62	6,16	6,29 ± 2,05	0,320	0,5123
DIV, %	57,1 ^{ab}	60,2 ^a	60,8 ^a	54,4 ^b	57,9 ± 5,04	0,744	0,0051
EB, MJ	16,9	17,0	17,2	16,5	16,9 ± 0,36	0,126	0,2368
PMS, kg/ha	3527 ^{ab}	5058 ^a	2204 ^{bc}	1173 ^c	2990 ± 1668	589,7	0,0298

^{a, b, c} Letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste T ($p < 0,05$).

¹MS: matéria seca total, MM: matéria mineral, PB: proteína bruta, FDA: fibra em detergente ácido, FDN: fibra em detergente neutro, Lig: lignina, DIV: digestibilidade in vitro, EE: extrato etéreo, EB: energia bruta, PMS: produção de MS; ²PRI: primavera, VER: verão, OUT: outono, INV: inverno; ³DP: desvio padrão; ⁴EPM: erro padrão médio.

APÊNDICE C

Valores médios da qualidade da forragem do sistema SML por estação, considerando os dois anos de avaliação.

Análise	Estações ²				Média ± DP ³	EPM ⁴	<i>P</i>
Bromatológica ¹	PRI	VER	OUT	INV			
MS, %	26,0	23,2	24,8	30,2	26,0 ± 9,54	1,455	0,2524
MM, %	9,02	9,32	9,18	8,92	9,20 ± 1,10	0,166	0,6353
PB, %	9,73	11,8	12,8	10,0	11,1 ± 3,66	0,552	0,1035
EE, %	2,52	2,26	2,23	1,97	2,23 ± 0,63	0,094	0,1867
FDA, %	36,6	38,1	36,6	39,2	37,6 ± 3,53	0,538	0,1933
FDN, %	69,1	66,7	63,8	66,4	66,5 ± 4,76	0,717	0,1041
LIG, %	4,56	4,92	4,27	5,35	4,78 ± 1,52	0,230	0,3076
DIV, %	58,8	61,1	62,2	54,6	59,3 ± 9,56	1,458	0,1371
EB, MJ	17,9	17,5	18,2	18,2	18,0 ± 0,52	0,185	0,4188
PMS, kg/ha	2130 ^a	3059 ^a	775,0 ^b	806,1 ^b	1693 ± 1079	381,4	0,0163

^{a, b} Letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste T ($p < 0,05$).

¹MS: matéria seca total, MM: matéria mineral, PB: proteína bruta, FDA: fibra em detergente ácido, FDN: fibra em detergente neutro, Lig: lignina, DIV: digestibilidade in vitro, EE: extrato etéreo, EB: energia bruta, PMS: produção de MS; ²PRI: primavera, VER: verão, OUT: outono, INV: inverno; ³DP: desvio padrão; ⁴EPM: erro padrão médio.

APÊNDICE D

Valores médios da qualidade da forragem do sistema DEG por estação, considerando os dois anos de avaliação.

Análise Bromatológica ¹	Estações ²				Média ± DP ³	EPM ⁴	P
	PRI	VER	OUT	INV			
MS, %	30,8	33,8	28,6	37,4	33,1 ± 15,0	2,506	0,6457
MM, %	9,07	8,17	8,46	8,34	8,51 ± 1,01	0,160	0,1428
PB, %	8,71	9,45	9,97	7,25	8,74 ± 2,71	0,429	0,1350
EE, %	2,40	2,47	2,31	2,09	2,32 ± 0,51	0,081	0,3497
FDA, %	40,7 ^{ab}	39,5 ^b	38,3 ^b	43,3 ^a	40,7 ± 3,93	0,622	0,0295
FDN, %	70,4	72,6	69,8	69,8	70,7 ± 3,70	0,584	0,2749
LIG, %	5,75 ^{ab}	5,32 ^b	4,08 ^c	6,43 ^a	5,53 ± 1,41	0,223	0,0013
DIV, %	52,7 ^b	58,7 ^{ab}	60,5 ^a	43,4 ^c	53,4 ± 9,42	1,509	<,0001
EB, MJ	17,5	18,3	18,1	17,3	17,8 ± 0,55	0,193	0,0678
PMS, kg/ha	1388	1490	1349	756,7	1246 ± 511,9	181,0	0,5343

^{a, b, c} Letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste T ($p < 0,05$).

¹MS: matéria seca total, MM: matéria mineral, PB: proteína bruta, FDA: fibra em detergente ácido, FDN: fibra em detergente neutro, Lig: lignina, DIV: digestibilidade in vitro, EE: extrato etéreo, EB: energia bruta, PMS: produção de MS; ²PRI: primavera, VER: verão, OUT: outono, INV: inverno; ³DP: desvio padrão; ⁴EPM: erro padrão médio.

APÊNDICE E

Variáveis de metano apresentadas por estação obtidas de machos Nelore no sistema de pastagem IAL.

Variáveis ⁴	Estações ¹				Média±DP ²	EPM ³	P
	PRI	VER	OUT	INV			
CH ₄ GD (g/ani/d)	159,3 ^b	145,1 ^b	227,7 ^a	203,3 ^a	182,4±56,0	8,260	<,0001
CH ₄ PVm (g/kg)	0,450 ^{ab}	0,370 ^c	0,509 ^a	0,402 ^{bc}	0,431±0,09	0,014	0,0011
CH ₄ PMet (g/kg)	1,944 ^b	1,641 ^c	2,336 ^a	1,904 ^{bc}	1,942±0,42	0,061	0,0025
CH ₄ GPD (g/kg)	284,4	362,7	426,9	375,8	362,3±149	22,25	0,0937
CH ₄ CMS (g/kg)	23,72 ^b	21,22 ^c	28,56 ^a	22,87 ^{bc}	23,92±4,92	0,726	0,0170
CH ₄ DDM (g/%)	60,30 ^b	55,69 ^b	79,24 ^a	55,87 ^b	62,32±16,1	2,346	0,0016
CH ₄ EB (Mcal/ani/d)	2,129 ^b	1,925 ^b	3,054 ^a	2,698 ^a	2,423±0,74	0,110	0,0025
YM % (EBCH ₄ /EBI)	7,287 ^b	6,805 ^b	9,398 ^a	7,366 ^b	7,700±1,65	0,244	<,0001

^{a, b, c} Letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste T.

¹PRI: primavera, VER: verão, OUT: outono, INV: inverno; ²DP: desvio padrão; ³EPM: erro padrão médio; ⁴CH₄GD: emissão de metano em g/dia, CH₄PVm: emissão de metano em g CH₄/kg de peso vivo médio, CH₄PMet: emissão de metano em g CH₄/kg de peso metabólico, CH₄GPD: emissão de metano em g CH₄/kg de ganho de peso médio diário, CH₄CMS: emissão de metano em g CH₄/kg de consumo médio diário de matéria seca, CH₄DDM: emissão de metano em g CH₄/kg de matéria seca digestível, CH₄EB: emissão de metano em Mcal CH₄/animal/dia, YM: porcentagem de energia bruta perdida na forma de metano

APÊNDICE F

Variáveis de metano apresentadas por estação obtidas de machos Nelore no sistema de pastagem SAL.

Variáveis ⁴	Estações ¹				Média±DP ²	EPM ³	P
	PRI	VER	OUT	INV			
CH ₄ GD (g/ani/d)	171,1 ^b	165,2 ^b	252,9 ^a	208,0 ^a	199,3±52,0	7,500	<,0001
CH ₄ PVm (g/kg)	0,497 ^{ab}	0,417 ^c	0,555 ^a	0,415 ^{bc}	0,471±0,13	0,019	<,0001
CH ₄ PMet (g/kg)	2,132 ^b	1,856 ^c	2,560 ^a	1,963 ^{bc}	2,128±0,53	0,077	<,0001
CH ₄ GPD (g/kg)	358,8 ^c	324,6 ^c	506,6 ^b	949,9 ^a	535,0±418	60,38	0,0110
CH ₄ CMS (g/kg)	26,82 ^b	22,06 ^c	31,29 ^a	26,47 ^b	26,66±5,94	0,858	<,0001
CH ₄ DDM (g/%)	64,0 ^b	54,8 ^c	82,7 ^a	57,4 ^{bc}	64,72±19,1	2,763	<,0001
CH ₄ EB (Mcal/ani/d)	2,273 ^b	2,194 ^b	3,359 ^a	2,763 ^{ab}	2,647±0,69	0,100	<,0001
YM % (EBCH ₄ /EBI)	8,798 ^b	7,193 ^c	10,11 ^a	8,923 ^{ab}	8,757±1,90	0,275	<,0001

^{a, b, c} Letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste T.

¹PRI: primavera, VER: verão, OUT: outono, INV: inverno; ²DP: desvio padrão; ³EPM: erro padrão médio; ⁴CH₄GD: emissão de metano em g/dia, CH₄PVm: emissão de metano em g CH₄/kg de peso vivo médio, CH₄PMet: emissão de metano em g CH₄/kg de peso metabólico, CH₄GPD: emissão de metano em g CH₄/kg de ganho de peso médio diário, CH₄CMS: emissão de metano em g CH₄/kg de consumo médio diário de matéria seca, CH₄DDM: emissão de metano em g CH₄/kg de matéria seca digestível, CH₄EB: emissão de metano em Mcal CH₄/animal/dia, YM: porcentagem de energia bruta perdida na forma de metano

APÊNDICE G

Variáveis de metano apresentadas por estação obtidas de machos Nelore no sistema de pastagem SML.

Variáveis ⁴	Estações ¹				Média±DP ²	EPM ³	P
	PRI	VER	OUT	INV			
CH ₄ GD (g/ani/d)	155,0 ^b	150,6 ^b	240,9 ^a	227,1 ^a	193,4±53,8	7,771	<,0001
CH ₄ PVm (g/kg)	0,441 ^b	0,376 ^c	0,536 ^a	0,450 ^{bc}	0,451±0,11	0,015	0,0002
CH ₄ PMet (g/kg)	1,899 ^b	1,679 ^c	2,464 ^a	2,129 ^{ab}	2,043±0,46	0,067	<,0001
CH ₄ GPD (g/kg)	317,4 ^b	343,2 ^b	444,8 ^a	517,9 ^a	405,8±155	22,30	0,0203
CH ₄ CMS (g/kg)	23,12 ^b	21,27 ^b	29,46 ^a	26,71 ^a	25,14±5,04	0,728	<,0001
CH ₄ DDM (g/%)	62,07 ^b	53,52 ^c	82,82 ^a	63,55 ^{bc}	65,49±18,5	2,672	<,0001
CH ₄ EB (Mcal/ani/d)	2,058 ^b	1,999 ^b	3,199 ^a	3,015 ^a	2,568±0,72	0,103	<,0001
YM % (EBCH ₄ /EBI)	7,174 ^{bc}	6,746 ^c	8,971 ^a	8,163 ^{ab}	7,763±1,44	0,208	<,0001

^{a, b, c} Letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste T.

¹PRI: primavera, VER: verão, OUT: outono, INV: inverno; ²DP: desvio padrão; ³EPM: erro padrão médio; ⁴CH₄GD: emissão de metano em g/dia, CH₄PVm: emissão de metano em g CH₄/kg de peso vivo médio, CH₄PMet: emissão de metano em g CH₄/kg de peso metabólico, CH₄GPD: emissão de metano em g CH₄/kg de ganho de peso médio diário, CH₄CMS: emissão de metano em g CH₄/kg de consumo médio diário de matéria seca, CH₄DDM: emissão de metano em g CH₄/kg de matéria seca digestível, CH₄EB: emissão de metano em Mcal CH₄/animal/dia, YM: porcentagem de energia bruta perdida na forma de metano

APÊNDICE H

Variáveis de metano apresentadas por estação obtidas de machos Nelore no sistema de pastagem DEG.

Variáveis ⁴	Estações ¹				Média±DP ²	EPM ³	P
	PRI	VER	OUT	INV			
CH ₄ GD (g/ani/d)	136,0 ^c	159,0 ^b	227,6 ^a	184,8 ^b	177,4±46,7	7,044	0,0016
CH ₄ PVm (g/kg)	0,441 ^b	0,448 ^b	0,560 ^a	0,421 ^b	0,460±0,13	0,019	0,0178
CH ₄ PMet (g/kg)	1,849 ^b	1,946 ^b	2,517 ^a	1,930 ^b	2,030±0,52	0,079	0,0128
CH ₄ GPD (g/kg)	313,4 ^c	366,2 ^{bc}	442,8 ^b	846,4 ^a	437,7±217	35,21	0,0118
CH ₄ CMS (g/kg)	24,49 ^b	24,66 ^b	31,26 ^a	30,49 ^a	27,38±7,16	1,080	0,0038
CH ₄ DDM (g/%)	53,94 ^{bc}	61,45 ^b	78,00 ^a	53,75 ^c	61,78±17,9	2,695	0,0045
CH ₄ EB (Mcal/ani/d)	1,849 ^d	2,155 ^c	3,065 ^a	2,498 ^b	2,356±0,62	0,094	0,0002
YM % (EBCH ₄ /EBI)	7,748 ^b	7,505 ^b	9,598 ^a	9,811 ^a	8,561±2,20	0,331	0,0021

a, b, c, d Letras diferentes na mesma linha diferem entre si (p < 0,05) pelo teste T.

¹PRI: primavera, VER: verão, OUT: outono, INV: inverno; ²DP: desvio padrão; ³EPM: erro padrão médio; ⁴CH₄GD: emissão de metano em g/dia, CH₄PVm: emissão de metano em g CH₄/kg de peso vivo médio, CH₄PMet: emissão de metano em g CH₄/kg de peso metabólico, CH₄GPD: emissão de metano em g CH₄/kg de ganho de peso médio diário, CH₄CMS: emissão de metano em g CH₄/kg de consumo médio diário de matéria seca, CH₄DDM: emissão de metano em g CH₄/kg de matéria seca digestível, CH₄EB: emissão de metano em Mcal CH₄/animal/dia, YM: porcentagem de energia bruta perdida na forma de metano

APÊNDICE I

Tabelas com os efeitos da interação entre tratamento e estação.

Emissão de metano em g CH₄/kg de ganho de peso médio diário (CH₄GPD) de bovinos Nelore nos sistemas de produção a pasto avaliados.

Tratamentos ¹	Estações do Ano				EPM ²
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
IAL	291,4 ^b	375,2 ^{ab}	434,7 ^a	382,9 ^{abB}	22,25
SAL	329,7 ^c	324,5 ^c	506,5 ^b	777,2 ^{aA}	38,46
SML	315,6 ^b	341,4 ^b	442,9 ^a	516,1 ^{aB}	22,30
DEG	302,1 ^c	354,9 ^{bc}	435,9 ^b	820,9 ^{aA}	35,21
EPM ²	15,86	17,31	17,97	46,02	

*Médias seguidas de letras diferentes (a, b, c), minúscula na linha e maiúscula na coluna diferem entre si pelo teste T a 5% de probabilidade.

¹IAL: pasto irrigado com alta taxa de lotação, SAL: pasto de sequeiro de alta taxa de lotação, SML: pasto de sequeiro de moderada taxa de lotação, DEG: pasto degradado; ²EP: erro padrão.

Emissão de metano em g CH₄/dia (CH₄GD) de bovinos Nelore nos sistemas de produção a pasto avaliados.

Tratamentos ¹	Estações do Ano				EPM ²
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
IAL	159,9 ^{Ab}	147,0 ^b	228,3 ^a	205,2 ^a	8,26
SAL	171,1 ^{Ac}	165,1 ^c	252,8 ^a	207,9 ^b	7,50
SML	154,3 ^{ABb}	149,9 ^b	240,3 ^a	226,4 ^a	7,77
DEG	136,8 ^{Bc}	159,9 ^b	228,4 ^a	185,6 ^b	7,04
EPM ²	4,17	3,23	6,56	8,01	

*Médias seguidas de letras diferentes (a, b, c), minúscula na linha e maiúscula na coluna diferem entre si pelo teste T a 5% de probabilidade.

¹IAL: pasto irrigado com alta taxa de lotação, SAL: pasto de sequeiro de alta taxa de lotação, SML: pasto de sequeiro de moderada taxa de lotação, DEG: pasto degradado; ²EP: erro padrão.

APÊNDICE J

Trabalhos publicados relacionados à tese.

BERNDT, A.; MEO FILHO, P.; **SAKAMOTO, L. S.**; MORELLI, M. Técnicas para mensurar emissão de metano em bovinos. In: Simpósio Brasileiro de Produção de Ruminantes no Cerrado, 4., 2018, Uberlândia, MG. **Anais...** FAMEV UFU, 2018. p. 85-96.

OLIVEIRA, P. P. A.; CORTE, R. R. S.; SILVA, S. L.; RODRIGUEZ, P. H. M.; **SAKAMOTO, L. S.**; PEDROSO, A. F.; TULLIO, R. R.; BERNDT, A. The effect of grazing system intensification on the growth and meat quality of beef cattle in the Brazilian Atlantic Forest biome. MEAT SCIENCE, v. 139, p. 157-161, 2018.

SAKAMOTO, L. S.; BERNDT, A.; VILAS BOAS, D. F.; MEO FILHO, P.; MENDES, E. D. M.; TULLIO, R. R.; GUILARDI, J. H.; ANDRADE, L. L.; CARDOSO, R. D.; LEME, P. R. Crossbred performance of genetic groups and sex different. In: 53ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2016, Gramado/RS. Anais da 53ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2016.

SAKAMOTO, L. S.; GUILARDI, J. H.; VILAS BOAS, D. F.; MEO FILHO, P.; MENDES, E. D. M.; ANDRADE, L. L.; TULLIO, R. R.; CECHINATTO, J. P.; LEME, P. R.; BERNDT, A. Enteric Methane Emissions from crossbred cattle from different breeds of bulls in confinement. In: II Simpósio Internacional Sobre Gases de Efeito Estufa na Agropecuária, 2016, Campo Grande/MS. Anais do II Simpósio Internacional Sobre Gases de Efeito Estufa na Agropecuária, 2016. v. 2. p. 429-430.

FERNANDES, R. M.; **SAKAMOTO, L. S.**; BERTI, G. F.; VILAS BOAS, D. F.; ANDRADE, L. L.; SIQUEIRA, G. R.; BERNDT, A. Effect of the use of the SF₆ tracer gas technique on the performance of Nellore Cattle. In: II Simpósio Internacional Sobre Gases de Efeito Estufa na Agropecuária, 2016, Campo Grande/MS. Anais do II Simpósio Internacional Sobre Gases de Efeito Estufa na Agropecuária, 2016. v. 2. p. 472-473.

ANDRADE, L. L.; **SAKAMOTO, L. S.**; VILAS BOAS, D. F.; GUILARDI, J. H.; LEMES, A. P.; MAHLMEISTER, K.; BERNDT, A. Confection of SF₆ capsules used to estimate ruminal

methane production in ruminants. In: II Simpósio Internacional Sobre Gases de Efeito Estufa na Agropecuária, 2016, Campo Grande/MS. Anais do II Simpósio Internacional Sobre Gases de Efeito Estufa na Agropecuária, 2016. v. 2. p. 466-467.

BERNDT, A.; **SAKAMOTO, L. S.**; LEMES, A. P.; PEDROSO, A. F.; PEZZOPANE, J. R. M.; ALVES, T. C.; VILAS BOAS, D. F.; CORTE, R. R.; OLIVEIRA, P. P. A. Enteric methane emissions of Nellore steers in different grazing production systems in Brazil. In: 6th Greenhouse Gas and Animal Agriculture Conference, 2016, Melbourne, Austrália. Book of abstracts of the 6th Greenhouse Gas and Animal Agriculture Conference, 2016. p. 22-22.

ZIMMERMAN, S.; BERNDT, A.; **SAKAMOTO, L. S.**; FERRARI, F. B.; MEO FILHO, P.; VILAS BOAS, D. F.; TULLIO, R. R. . Methane and Carbon Dioxide Emissions Variability and Repeatability from Cross Breed Cattle Fed Maize Silage Diets in Brazil. In: 6th Greenhouse Gas and Animal Agriculture Conference, 2016, Melbourne, Austrália. Book of abstracts of the 6th Greenhouse Gas and Animal Agriculture Conference, 2016. p. 52-52.

CORTE, R. R.; SILVA, S. L.; PEDROSO, A. F.; NASSU, R. T.; TULLIO, R. R.; BERNDT, A.; **SAKAMOTO, L. S.**; RODRIGUES, P. H. M. ; OLIVEIRA, P. P. A. . Beef cattle productivity in grazing systems with different levels of intensification. In: II Simpósio Internacional sobre Gases de Efeito Estufa na Agropecuária, 2016, Campo Grande/MS. Anais do II Simpósio Internacional sobre Gases de Efeito Estufa na Agropecuária, 2016. v. 2. p. 286-289.

BERNDT, A.; LEMES, A. P.; VILAS BOAS, D. F.; **SAKAMOTO, L. S.**; MEO FILHO, P. Mensuração de Metano Entérico em Ruminantes sob Pastejo. In: Odilon Gomes Pereira, Dilermando Miranda da Fonseca, Karina Guimarães Ribeiro, Fernanda Helena Martins Chizzotti. (Org.). VIII SIMFOR - Simpósio sobre Manejo Estratégico de Pastagens. 1ed. Viçosa/MG: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2016, v. 8, p. 117-138.

CORTE, R. R.; SILVA, S. L.; PEDROSO, A. F.; NASSU, R. T.; TULLIO, R. R.; BERNDT, A.; **SAKAMOTO, L. S.**; RODRIGUES, P. H. M.; OLIVEIRA, P. P. A. Effects of intensification of grazing systems on meat quality of Nellore steers in Brazil. In: 67th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, 2016, Belfast. 67th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science. Belfast, 2016. v. 2. p. 392-392.

CORTE, R. R.; SILVA, S. L.; PEDROSO, A. F.; NASSU, R. T.; TULLIO, R. R.; BERNDT, A.; **SAKAMOTO, L. S.**; RODRIGUES, P. H. M.; OLIVEIRA, P. P. A. Carcass traits of Nellore steers in different Brazil grazing systems. In: 67th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, 2016, Belfast. 67th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science. Belfast, 2016. v. 3. p. 622-622.

SAKAMOTO, L. S.; BERNDT, A.; MAHLMEISTER, K.; LEMES, A. P.; PEDROSO, A. F.; ALVES, T. C.; OLIVEIRA, P. P. A. Enteric methane emissions by Nellore steers grazing different pastures. In: 52° Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2015, Belo Horizonte/MG. Anais da 52° Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2015.

BERNDT, A.; **SAKAMOTO, L. S.**; LEMES, A. P.; PEDROSO, A. F.; PEZZOPANE, J. R. M.; ALVES, T. C.; VILAS BOAS, D. F.; CORTE, R. R.; OLIVEIRA, P. P. A. Intensive grazing systems can enhance carcass production with the same methane emissions. In: Journal of Animal Science, 2015, Orlando. ADSA - ASAS - Joint Annual Meeting, 2015. v. 93.

BERNDT, A.; **SAKAMOTO, L. S.**; FERRARI, F. B.; BORBA, H.; MENDES, E. D. M.; TULLIO, R. R. Enteric methane emissions from beef cattle of different genetic groups in confinement in Brazil. In: 66th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, 2015, Warsaw. Book of Abstracts of the 66th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, 2015. v. 66. p. 239-239.

BERNDT, A.; **SAKAMOTO, L. S.**; FERRARI, F. B.; BORBA, H.; MENDES, E. D. M.; TULLIO, R. R.; ALENCAR, M. M. Performance of crossbred cattle in confinement in Brazil. In: 66th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, 2015, Warsaw. Book of Abstracts of the 66th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, 2015. v. 66. p. 239.

BERNDT, A.; LEMES, A. P.; VILAS BOAS, D. F.; **SAKAMOTO, L. S.**; AZENHA, M. V.; MEO FILHO, P.; OLIVEIRA, P. P. A. De vilã à solução, a pecuária reduzindo a emissão de gases de efeito estufa. In: Scot Consutoria. (Org.). Encontro dos Encontros. 2 ed. São Carlos/SP: Suprema Gráfica e Editora, 2015, v. 2, p. 119-125.

SILVA, E. M.; BERNDT, A.; PEDROSO, A. F.; **SAKAMOTO, L. S.**; OLIVEIRA, P. P. A.; NASSU, R. T. Qualidade da carcaça de bovinos criados em diferentes sistemas de produção, almejando a sustentabilidade na produção pecuária. In: 67ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 2015, São Carlos/SP. Anais da 67ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), 2015. v. 1. p. 1-1.

OLIVEIRA, P. P. A.; RODRIGUES, P. H. M.; LEMES, A. P.; **SAKAMOTO, L. S.**; CORTE, R. R.; PRAES, M. F. F. M. Emissões de GEEs e amônia em sistemas pastoris: mitigação e boas práticas de manejo. In: 27º Simpósio sobre Manejo da Pastagem., 2015, Piracicaba/SP. Sistemas de Produção, Intensificação e Sustentabilidade na Produção Animal. Piracicaba/SP: FEALQ, 2015. v. 1. p. 179-222.

BERNDT, A.; LEMES, A. P.; **SAKAMOTO, L. S.**; OLIVEIRA, P. P. A. The impact of Brazilian livestock production on global warming. In: 51º Annual Meeting of the Brazilian Society of Animal Science, 2014, Barra dos Coqueiros/SE. Anais da 51º Annual Meeting of the Brazilian Society of Animal Science, 2014.

BERNDT, A.; ROMERO, L. A.; **SAKAMOTO, L. S.** Pecuária de Corte frente à Emissão de Gases de Efeito Estufa e Estratégias Diretas e Indiretas para Mitigar a Emissão de Metano. In: IV Simpósio Internacional de Nutrição de Ruminantes - Nutrição de Precisão para Sistemas Intensivos de Produção de Carne: Alto Desempenho e Baixo Impacto ambiental, 2013, Botucatu. Anais do VI Simpósio de Nutrição de Ruminantes e 4º Brazilian Ruminant Nutrition Conference - Nutrição de precisão para sistemas intensivos de produção de carne: Alto desempenho e baixo impacto ambiental, 2013. p. 3-19.