

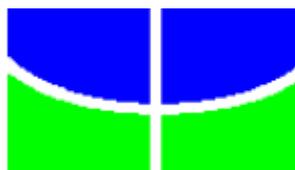
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**O USO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA COMO INDICADOR DA
PRODUÇÃO DE METANO EM OVINOS**

MAÍRA DE CARVALHO PORTO BARBOSA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS ANIMAIS

BRASÍLIA / DF
FEVEREIRO DE 2017



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**O USO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA COMO INDICADOR DA
PRODUÇÃO DE METANO EM OVINOS**

MAÍRA DE CARVALHO PORTO BARBOSA

ORIENTADORA: CONCEPTA MARGARET MCMANUS PIMENTEL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS ANIMAIS

PUBLICAÇÃO: 185/2017

BRASÍLIA / DF
FEVEREIRO DE 2017

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA E CATALOGAÇÃO

BARBOSA, M.C.P. **O uso da termografia infravermelha como indicador da produção de metano em ovinos**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2017, 82 p. Dissertação de Mestrado.

Documento formal, autorizando reprodução desta dissertação de mestrado para empréstimo ou comercialização, exclusivamente para fins acadêmicos, foi passado pelo autor à Universidade de Brasília e acha-se arquivado na Secretaria do Programa. O autor e seu orientador reservam para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor e do seu orientador. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

Bu	Barbosa, Maíra de Carvalho Porto O uso da termografia infravermelha como indicador da produção de metano em ovinos / Maíra de Carvalho Porto Barbosa; orientador Concepta Margaret Pimentel McManus . -- Brasília, 2017. 75 p. Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciência Animal) -- Universidade de Brasília, 2017. 1. predição da produção de metano. 2. termografia infravermelha. 3. ovinos. 4. metanogênese. I. McManus , Concepta Margaret Pimentel , orient. II. Título.
----	--

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**O USO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA COMO INDICADOR DA
PRODUÇÃO DE METANO EM OVINOS**

MAÍRA DE CARVALHO PORTO BARBOSA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
ANIMAIS DA FACULDADE DE AGRONOMIA E
MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM CIÊNCIAS ANIMAIS.**

APROVADA POR:

CONCEPTA MARGARET MCMANUS PIMENTEL, Prof.^a PhD
Universidade de Brasília
(ORIENTADORA)

Luiza de Souza Seixas Melo, Dr.
Universidade de Brasília
(EXAMINADOR EXTERNO)

João Batista Gonçalves Costa Júnior, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(EXAMINADOR EXTERNO)

BRASÍLIA/DF, 27 de fevereiro de 2017.

DEDICO

Ao meu esposo

Fernando Barbosa Pereira

Aos meus filhos

Mateus, Maria, Helena e Cora

Aos meus pais

Célio Brovino Porto e Maria Lúcia de Carvalho Porto

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me permitido realizar o sonho do mestrado e por ter encontrado Nele força nos momentos de dificuldade. Aos meus pais que desde criança me incentivaram a ir além, a não desistir diante das derrotas, que fizeram nascer em mim o amor pelos estudos e que me ajudaram com as crianças para que eu pudesse me dedicar ao mestrado. Por tudo isso e todos os ensinamentos que não se encontram em livros, obrigada.

Aos meus filhos, meu maior incentivo. Estudar tendo filhos pequenos foi uma experiência única. Inúmeras vezes, nos dias mais corridos, nos amontoamos em frente ao computador enquanto eu lia um artigo, realizava um trabalho ou escrevia a dissertação. As apresentações eram ensaiadas em forma de histórias infantis e aos poucos vi nascer neles também a admiração pelos estudos. Por eles qualquer desafio se tornou possível, no sorriso deles me renovei diante de cada situação desanimadora, sem eles eu não teria chegado até aqui.

E sem uma rede de apoio não teria como conciliar família e estudos. Agradeço à Claudete, Nathália e Carminha por terem ficado pacientemente com a Helena, ainda bebezinha, para que eu pudesse participar da seleção do mestrado. E por tantas outras vezes que cuidaram das crianças em alguns dias de aula. Pelo apoio e palavras de incentivo, sou grata à Maria Elizabete, Dra. Sônia e aos meus irmãos Renata e Marcelo.

À Fundação de Apoio à Pesquisa (FAP-DF) pelo financiamento que ajudou a tornar esse projeto possível. À Universidade de Brasília por toda infraestrutura e aos professores que dedicaram seu tempo em transmitir o conhecimento. Alguns tive o privilégio de conhecer ainda na faculdade e de reencontrar durante o mestrado. Em especial agradeço ao professor Francisco Bernal, por ter sido o primeiro a me dar a oportunidade de realizar a pós-graduação, a ele minha mais sincera gratidão.

À minha orientadora, professora Connie, uma pessoa de quem muito já tinha ouvido falar e que ao conhecer fez aumentar minha admiração. Se tornou um exemplo de

profissional, de professora e me impressionou com sua sensibilidade e compreensão. Ao colega, Tiago Paim, que manejou os animais e realizou as coletas de dados. Pela disposição e pelo auxílio fornecido, meu muito obrigada. Ao João Costa Júnior, que pacientemente esteve presente nesse último ano, sempre com uma palavra ou um ensinamento.

À Secretaria de Agricultura do Distrito Federal, principalmente à Diretoria de Inspeção de Produtos de Origem Vegetal e Animal- DIPOVA, pela concessão do horário especial, por crer que o servidor público, ao se ausentar para se aperfeiçoar e para se capacitar, é um profissional que futuramente agrega todo esse conhecimento no exercício de sua profissão. A todos que junto comigo se empenharam por essa causa, especialmente agradeço à Cecília Cordeiro, Cláudia Gomes, Marisa Silva, Thaís Lima e Viviane Carvalho.

Em especial, agradeço meu esposo, Fernando, que nesses últimos dois anos abdicou tantas vezes de seus interesses pessoais e profissionais para que eu pudesse voltar a estudar, conciliando trabalho, filhos, casa e nosso casamento. Diante das mais diversas dificuldades que encontramos, caminhamos sempre juntos e, sem isso, talvez tivesse desistido no meio do caminho. Essa é uma conquista de nós dois e não existem palavras que descrevam toda minha gratidão e amor por esse gesto de doação.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	ix
CAPÍTULO 1	1
1.INTRODUÇÃO	2
1.1 Problemática e relevância.....	3
1.2 Objetivo.....	4
2.REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1.Importância Ambiental da Produção de Metano	5
2.1.1. Agropecuária e gases de efeito estufa	6
2.2.Características Anatômicas e Fisiológicas dos Ruminantes	7
2.3. Metanogênese	10
2.3.1. Fatores que influenciam a metanogênese.....	12
2.4. Alimentação e Produção de Metano Entérico	13
2.5. Calor Produzido na Metanogênese.....	15
2.6. Formas de Mensurar a Produção de Metano	16
2.7. Termografia Infravermelha.....	18
2.8. Relação entre Produção de Metano, Calor e Termografia	20
3.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
CAPITULO 2	30
RESUMO.....	31
ABSTRACT.....	32
1.INTRODUÇÃO	33
2.MATERIAL E MÉTODOS	35
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
CONCLUSÃO.....	49
4.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXOS.....	54

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1 - – Identificação dos animais, tipo de tratamento e dias de observação	37
Tabela 2.2. Correlação entre consumo de matéria seca, produção de metano, produção de metano pelo consumo de matéria seca e produção de metano pelo peso metabólico	39
Tabela 2.3 – Correlação entre consumo de matéria seca, metano e medidas termográficas na hora da alimentação (0h)	41
Tabela 2.4 – Correlação entre consumo de matéria seca, metano e medidas termográficas três horas após alimentação (3h)	42
Tabela 2.5 – Regressões para as variáveis: consumo de matéria seca, produção de metano, produção de metano pelo consumo de matéria seca, produção de metano pelo peso metabólico em relação às diferenças de temperaturas dos lados esquerdo e direito, para ovinos, no momento da alimentação, uma, três e sete horas após o fornecimento do alimento	43
Tabela 2.6 – Regressões para as variáveis: consumo de matéria seca e produção de metano em relação às temperaturas médias, mínimas e máximas dos lados esquerdo e direito, para ovinos, no momento da alimentação e três horas após o fornecimento do alimento	44

LISTA DE FIGURAS**CAPÍTULO 2**

Figura 2.1 – Imagem termográfica do flanco esquerdo	36
Figura 2.2 - Fatores 1 e 2 em relação às temperaturas média, mínima, máxima e do ponto dos lados esquerdo e direito na hora 3	45
Figura 2.3 - Fatores 1 e 2 em relação às diferenças de temperatura dos lados esquerdo e direito na hora 3	46
Figura 2.4 - Fatores 1 e 2 em relação às diferenças de temperatura dos lados esquerdo e direito na hora 7	47

RESUMO

O USO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA COMO INDICADOR DA PRODUÇÃO DE METANO EM OVINOS

Maíra de Carvalho Porto Barbosa¹, Concepta Margaret McManus Pimentel¹

¹Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, Brasília/DF.

O metano é um importante gás de efeito estufa que, quando comparado à era pré-industrial, teve um considerável aumento nas suas emissões. Com potencial de aquecimento global maior que o do gás carbônico, tem chamado atenção para suas fontes geradoras. Um dos motivos para o aumento de sua concentração atmosférica deve-se à pecuária, por ser um gás produzido durante a fermentação entérica do alimento pelos ruminantes. A intensificação da produção de alimentos de origem animal que ocorreu nas últimas décadas fez com que os níveis registrados de emissão de metano aumentassem de forma considerável. Os microrganismos do reino *Archaea*, conhecidos como metanogênicos, se utilizam de substratos resultantes da degradação bacteriana, realizada na ingesta, para produzir energia. O gás metano é um dos produtos dessa interação. Por estar relacionado com a fermentação ruminal, sua produção é influenciada por inúmeros fatores como tipo de alimento, taxa de passagem da ingesta, microbiota do rúmen e até da localização geográfica do rebanho. Além da importância ambiental, causa perdas na produtividade, pois sua produção gera de 2 a 12% de perda da energia ingerida e absorvida pelo animal. Essa perda energética manifesta-se na forma de calor e faz parte do incremento calórico da alimentação. Para mensurar a quantidade de metano produzido por um ruminante as técnicas mais tradicionais existentes são da câmara respirométrica, marcador de hexafluoreto de enxofre, marcador interno de gás carbônico e produção in vitro de gases. Alguns novos métodos estão sendo estudados, entre eles está a termografia infravermelha. A aferição da temperatura superficial de um objeto, com o auxílio da câmara termográfica, tem sido pesquisada como forma de prever a produção de metano, baseando-se no conceito de que a metanogênese leva a uma perda perceptível de calor.

Palavras-chaves: gases de efeito estufa; metanogênese; produção de calor; perda energética; imagem termográfica.

ABSTRACT

THE USE OF INFRARED THERMOGRAPHY AS AN INDICATOR OF METHANE PRODUCTION IN SHEEP

Maíra de Carvalho Porto Barbosa¹, Concepta Margaret McManus Pimentel¹

¹Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, Brasília/DF.

Methane is an important greenhouse gas that, when compared to the pre-industrial era, has had a considerable increase in its emissions. With global warming potential higher than carbon dioxide, it has drawn attention to its generating sources. One of the reasons for the increase of its atmospheric concentration is due to the cattle raising, being a gas produced by the ruminants during the enteric fermentation of the food. The intensification of the meat industry, occurred in the last decades, has caused a considerably increase in the registered levels of methane emissions. The microorganisms of the *Archaea* kingdom, known as methanogens, use substrates from bacterial degradation of food to produce energy. Methane gas is one of the products of this interaction. Because of the relation with ruminal fermentation, its production is influenced by innumerable factors such as type of food, rate of ingest passage, rumen microbiota and even geographic location of the herd. Besides the environmental importance, it causes losses in productivity, since its production generates from 2 to 12% of loss of energy ingested and absorbed by the animal. This energy loss manifests itself in the form of heat and is part of the caloric increment of food. To measure the amount of methane produced by a ruminant, the most traditional techniques used are the respirometric chamber, sulfur hexafluoride marker, internal carbon dioxide marker and *in vitro* gas production. Some new methods are being studied, among them is infrared thermography. The measurement of an object's surface temperature with the help of the thermographic camera has been researched as a way of predicting the production of methane, based on the concept that methanogenesis leads to a perceptible loss of heat.

Key-words: greenhouse gases; methanogenesis; heat production; energy loss; thermographic image.

CAPÍTULO 1

1.INTRODUÇÃO

Desde a era pré-industrial até os dias atuais, houve aumento da concentração atmosférica dos gases de efeito estufa (GEE), causado em grande parte pela industrialização e pelas mudanças no uso da terra (Prather et al., 2012). Após o gás carbônico (CO_2), o gás metano (CH_4) é o segundo GEE de maior importância quando se trata de aquecimento global. Apesar de suas concentrações atmosféricas terem permanecido praticamente estagnadas no início do século XXI, na última década observou-se um aumento considerável de sua quantidade e as emissões antropogênicas têm sido relatadas como uma das possíveis causas desse acúmulo (Basso et al., 2016). Além de contribuir para mudanças climáticas, o CH_4 representa uma perda da energia alimentar bruta de cinco a 10%, sendo a sua redução importante para os sistemas produtivos de leite e carne (Madsen et al., 2010).

Nos ruminantes o CH_4 é produzido livremente a partir do processo normal de fermentação dos alimentos, predominantemente no rúmen, mas também no intestino grosso (Hook et al., 2010). Calcula-se que nas ovelhas a formação de metano entérico ruminal corresponda a 87% da produção total, sendo 95% eliminado pela eructação. Do percentual produzido no intestino, 89% é absorvido e exalado pelos pulmões. Dessa forma, é possível afirmar que 98% de todo CH_4 proveniente da fermentação da ingesta é eliminado pela boca ou pelas narinas das ovelhas (Pinares-Platiño et al., 2011). Inúmeros fatores podem atuar na fermentação e afetar a metanogênese, entre eles os principais são o nível de consumo alimentar, o tipo de carboidrato fornecido e a constituição da microbiota ruminal (Kumar et al., 2014).

Para mensurar a produção de metano diversos métodos são utilizados, requerendo o uso de equipamentos complexos e muitas vezes de alto custo (Sejian et al., 2011). Devido à produção de calor na fermentação e metanogênese (Resende et al., 2006), e à

capacidade da termografia infravermelha de detectar mínimas variações de temperatura (McManus et al., 2016), esta nova tecnologia tem sido pesquisada como uma alternativa aos métodos tradicionais.

1.1 Problemática e relevância

Após o protocolo de Kyoto, dados sobre os danos causados pelo metano aumentaram as preocupações sobre suas emissões antropogênicas. A agropecuária é responsável por 50% de toda emissão antropogênica de metano, sendo principalmente originado na fermentação entérica dos ruminantes (Ellis et al., 2007). Por ser a principal fonte de GEE proveniente da pecuária e por ser um subproduto da digestão ruminal, a redução das emissões é de grande importância ambiental (Herd et al., 2014). Apesar de existirem diversas maneiras de mitigar as quantidades emitidas, o percentual reduzido está bem abaixo de seu potencial (Smith et al., 2008). Espera-se que em muitos países desenvolvidos a produção de metano proveniente da ruminação reduza consideravelmente até o ano de 2030 (EPA, 2012)

Predizer as quantidades lançadas na atmosfera é essencial para avaliar a eficiência das estratégias de mitigação, para elaborar políticas ambientais e fornecer dados aos inventários nacionais de GEE (Moraes et al., 2014). Atualmente os métodos mais utilizados para a mensuração das emissões de metano são pelas técnicas de câmara respirométrica, marcador hexafluoreto de enxofre, produção *in vitro* de gases para medição de metano e do marcador interno dióxido de carbono. Embora possuam suas indicações e vantagens, características como alto custo de aquisição e implementação, impossibilidade de conciliar avaliação do animal a pasto com resultados mais precisos e demanda de tempo entre início e término das aferições estão entre as maiores desvantagens observadas (Moura et al., 2015).

Por ser um método capaz de detectar a temperatura superficial de um corpo com facilidade e alta precisão (Nääs et al., 2014), a termografia infravermelha é uma alternativa na mensuração do metano produzido. Além de ser uma metodologia simples e de custo inferior (McManus et al., 2016). Montanholi et al. (2008) pesquisaram a mensuração da produção de metano com uso da termografia infravermelha, apontando o método como de grande potencial na estimativa das emissões de metano.

1.2 Objetivo

Considerando as desvantagens dos métodos tradicionais de mensurar a produção de metano, a produção de calor proveniente da digestão e o advento das câmaras termográficas, o intuito do trabalho foi analisar se a termografia infravermelha é um método adequado para mensurar a emissão de metano em ovelhas.

2.REVISÃO DE LITERATURA

2.1.Importância Ambiental da Produção de Metano

O agravamento do efeito estufa observado nas últimas décadas tem gerado preocupações a nível mundial. O fenômeno de estufa ocorre pela capacidade dos gases de absorver e emitir radiações inicialmente emitidas pela Terra, pela própria atmosfera e pelas nuvens. Originalmente, os principais gases de efeito estufa (GEE) encontrados na atmosfera eram vapor de água, dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4) e ozônio (O_3). Atualmente, além do aumento da concentração de gases já existentes de forma antropogênica, existem também outros gases produzidos pelo homem, como os halocarbonetos e substâncias contendo cloro e bromo (IPCC, 2012). As concentrações atmosféricas dos GEE aumentaram desde 1750 devido à ação do homem, causando uma maior absorção de radiação infravermelha e contribuindo para uma série de alterações climáticas (IPCC 2014; Richter et al., 2016).

Entre os GEE, um dos principais responsáveis por seus efeitos adversos é o CO_2 , proveniente principalmente da queima de combustíveis fósseis, mudanças no uso da terra, deterioração microbiana, queima de lixo vegetal e da matéria orgânica do solo (Caro et al., 2014; Smith et al., 2008). Mas além dele, gases presentes na atmosfera em pequenas quantidades como CH_4 , que possui um potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o CO_2 , também contribuem para o efeito estufa (EPA 2012, IPCC 2007). Em 2011, a concentração de CH_4 chegou a um aumento de 150% quando comparada aos níveis pré-industriais (IPCC 2014).

Entre os anos de 1990 e 2005, as emissões totais dos GEE cresceram em 10% e estima-se que até 2030 aumentem em 43%. Nesses 15 anos registrou-se 10% a mais de

emissão de metano e a previsão é que as produções até 2030 cresçam mais 26% (EPA, 2012). Essa evolução na produção de metano tem sido observada desde o século XVIII e, embora haja poucos dados anteriores a 1990, um aumento de 150% pode ser observado (IPCC, 2014).

Na era pré-industrial as fontes de CH₄ podiam ser divididas em três categorias. As fontes biogênicas, a partir das quais ocorre liberação do gás na atmosfera naturalmente por meio de pântanos, produção de arroz e ruminantes. As fontes geológicas, por vulcões e fumarolas. E por fontes pirógenas, como incêndios e queima de carvão. Algumas das emissões citadas já ocorriam por ação antropogênica (Lacroix, 1993; Spart, 2012). Após este período, as principais áreas que contribuíram para o aumento da concentração atmosférica de CH₄ foram as emissões antropogênicas, participando das causas primárias do aquecimento global (Caro et al., 2014, Richter et al., 2016). Existem diversas fontes de metano a partir da ação do homem, entre elas as de origem energética, como o gás natural e queima de biomassa, as provenientes de processos industriais, como a produção de químicos e de metais, da agropecuária, de dejetos entre outras (EPA, 2012).

2.1.1. Agropecuária e gases de efeito estufa

A agropecuária libera quantidades significativas de CO₂, CH₄ e N₂O, contribuindo com cerca de um quarto do total de GEE e sendo responsável por aproximadamente 50% das emissões de metano (IPCC, 2014; Smith et al., 2008). Na agropecuária, diversas atividades como plantação de arroz por alagamento, queima de biomassa, manejo de resíduos animais e fermentação entérica produzem e liberam metano na atmosfera (Sejian et al., 2010). No ano de 2005, a agropecuária contribuiu com 56% das emissões dos GEE, exceto CO₂. (EPA, 2012)

Há uma relação direta entre a domesticação dos rebanhos e ao aumento da liberação de metano na atmosfera, fato agravado pela produção de ruminantes em larga escala ocorrido nas últimas décadas (Sejian et al., 2010). O crescimento econômico impulsionou a produção de carne e os modelos de criação tradicionais foram sendo substituídos por criações intensivas, tornando os produtos de origem animal mais acessíveis, sendo incluídos nas refeições diárias de grande parte da população (UNEP/GEAS, 2013).

A fermentação entérica é o maior contribuinte da produção de metano pelo setor agropecuário, com taxas anuais de crescimento de 0,7% (IPCC, 2014). A produção de metano no processo de fermentação ruminal é de importância mundial não só pelo seu acúmulo na camada de ozônio, mas também por gerar perda da energia alimentar do animal (Hook et al., 2010). Em ruminantes, a produção de metano leva a uma perda de 2 a 12% da energia ingerida. Dessa forma, mitigar sua produção é benéfico não só do ponto de vista ambiental, mas também pela melhoria da eficiência energética e performance do animal (Qiao et al., 2014). Por todos esses fatores, há o interesse em desenvolver novas técnicas, assim como melhorar as já existentes, de prever a produção de metano, a fim de identificar estratégias de mitigação, visando a redução das emissões gerais, sem prejuízo da viabilidade econômica das empresas (Sejian et al., 2010).

2.2. Características Anatômicas e Fisiológicas dos Ruminantes

Os ruminantes, após processo evolutivo, desenvolveram um estômago multicavitário, dividido em três pré-estômagos (retículo, rúmen e omaso) e um estômago propriamente dito (abomaso) (Furlan et al., 2006). Cada um dos pré-estômagos é composto por um epitélio não glandular, queratinizado e estratificado, com uma complexa estrutura mucosa, representada pelas papilas ruminais, dobras reticulares e lâminas do omaso (Yamamoto et al., 1995). Apesar de possuírem importante papel metabólico, de defesa e de absorção de nutrientes, os pré-estômagos dos ruminantes possuem função principal de fermentação (Steele et al., 2014). Já o abomaso assemelha-se ao estômago dos monogástricos, com epitélio de revestimento contendo mucosa repleta de glândulas secretoras (Furlan et al., 2006).

As particularidades anatômicas e fisiológicas dos ruminantes permitem a ingestão de quantidades moderadas de forragem, alimento fibroso, de baixa ou nenhuma digestibilidade, que passa pela ruminação e é retido por um longo período, a fim de obter uma alta digestibilidade da fibra (Steuer et al., 2013; Furlan et al., 2006). Grande parte das forragens é composta por carboidratos estruturais, em sua maioria celulose e hemicelulose, degradados mais lentamente que os polissacarídeos, por exemplo, o amido. Já os grãos são ricos em amido e com poucos carboidratos estruturais em sua composição (Janssen, 2010).

Para digerir a celulose é necessário que ocorra um dano mecânico à fibra, realizado durante a mastigação. Ocorrendo tanto durante a ingestão como durante a ruminação, a mastigação é essencial na digestão de forragens e possibilita uma maior degradação ruminal. Isso não só por reduzir o tamanho do alimento, mas também por expor as estruturas internas antes revestidas pela epiderme, que quando intacta é impenetrável pela microbiota. Após a perda da integridade da epiderme, os microrganismos ruminais, que evoluíram juntos com os ruminantes por milhares de anos, são então capazes de colonizar o alimento (Beauchemin, 1992; Zhang et al., 2014). Essa etapa da digestão, que pode demandar por volta de oito horas diárias, leva a uma perda energética, variando de 8 a 33% da energia metabolizada ingerida, podendo ser influenciada pelas características quantitativas e qualitativas do alimento, como a quantidade ingerida e o teor de fibra da forragem (Nicol et al., 2016; Suzuki et al., 2008).

O alimento ingerido passa a ser continuamente misturado e fermentado, além de frequentemente regurgitado e remastigado, durante o processo de ruminação (Munn et al., 2010). Cerca de 30 a 90 minutos após ingerir o alimento, variando de acordo com o teor de fibra e o tamanho da partícula, inicia-se a ruminação, que compreende de quatro a 24 períodos, com 10 a 60 minutos cada (Furlan et al., 2006). Isso faz com que a ruminação poligástrica difira da digestão monogástrica e ocorra em um ciclo regular, em que turnos regulares de mastigação são separados por intervalos interturnos de alguns segundos no qual o material ruminado é deglutido e um novo bolo é regurgitado (Nicol et al., 2016).

Entre os herbívoros mamíferos, os ruminantes possuem a particularidade de combinar um sistema de fermentação no trato gastrointestinal superior com um mecanismo específico de segregação. Tal mecanismo atua de acordo com a densidade das partículas ingeridas e, conseqüentemente, com seus tamanhos, já que há uma relação direta entre eles. Ocorre assim uma separação interna das partículas deglutidas, de acordo com suas dimensões (Clauss et al., 2011). E ao se comparar com outros herbívoros em que a fermentação ocorre no trato gastrointestinal inferior, como os cavalos, o processamento de alimentos no trato gastrointestinal superior apresenta níveis mais elevados de eficiência digestiva (Munn et al., 2010; Steuer et al., 2013).

Uma vez ingerida e triturada, a fibra ainda precisa ser degradada, absorvida e aproveitada pelo animal, por meio de um processo fermentativo anaeróbico dentro dos pré-estômagos (Furlan et al., 2006). No interior do rúmen, um ambiente anaeróbico, com pH médio de 5,6 a 6,7 e temperatura de 39°C proporciona condições ideais para que os microrganismos

degradem os polímeros em monômeros e oligômeros (Janssen, 2010). Tudo isso, somado à existência de padrões de motilidade característicos do segmento ruminorreticular, constitui um sistema capaz de promover o crescimento de bactérias, fungos e protozoários (Furlan et al., 2006). No interior desta câmara de fermentação estável, a microbiota recebe o substrato necessário para sua sobrevivência e uma simbiose mutualística passa a definir a relação entre microrganismos e ruminante (Arcuri et al., 2006).

As populações que habitam no rúmen são diversas e interdependentes. As bactérias são a forma de vida predominante, maiores contribuintes para digestão e conversão do alimento em ácidos graxos voláteis (AGV) e proteínas microbianas. A dieta exerce grande influência nos tipos e quantidades de microrganismos presentes no rúmen, e quando alterada pode gerar um efeito cascata no metabolismo ruminal (Zhang et al., 2014). Para obtenção de produtos finais que possam ser utilizados pelo animal como fonte energética, é necessário que o alimento sofra a ação das bactérias, fungos e protozoários, processo denominado de fermentação ruminal (Berchielli et al., 2012).

São diversos os AGV resultantes da fermentação ruminal. Entre os principais estão o acetato, o propionato, e o butirato, mas há também a produção de etanol, lactato, succinato, ácidos graxos de cadeia ramificada, amônia, dióxido de carbono e hidrogênio (Janssen, 2010). Altamente energéticos, os AGV são capazes de suprir de 60% a 80% do requerimento energético dos ruminantes e sua concentração é determinada pela digestibilidade da dieta. Podem variar também no tamanho de suas cadeias, sendo os de maiores cadeias com absorção mais rápida. Assim, infere-se que ácido butírico é absorvido mais rápido que o ácido propiônico, que é por sua vez absorvido mais rápido que o ácido acético (Furlan et al., 2006).

Um dos principais produtos gerados a partir a fermentação microbiana, e que não é aproveitado pelo animal, é o metano, um gás incolor e inodoro, mas que leva a uma perda energética de 2 a 12 % (Ellis et al., 2010). Diante deste fato, é possível afirmar que o metano não só é um gás importante do ponto de vista ambiental, por se acumular na camada de ozônio, mas também produtivo, já que sua formação interfere na energia metabolizada, pois gera perda da energia alimentar do animal (Blaxter & Clapperton, 1965; Hook et al., 2010).

Sua emissão está sujeita a diversas variáveis como o consumo de volumoso, o tipo e a quantidade de carboidrato suplementado na dieta, taxa de passagem do alimento, a extensão da sua degradação, quantidade de hidrogênio (H₂) formado a partir do alimento,

microrganismos presentes no rúmen, a localização geográfica do rebanho entre outros fatores (Berchielli et al., 2012; Janssen, 2010; Qiao et al., 2014; Hook et al., 2010).

A digestibilidade possui relação direta com a taxa de passagem pelo trato digestório e com o tipo de produto ingerido, sendo que os líquidos permanecem menos tempo dentro do rúmen, seguidos pelos grãos e em último lugar pelas forragens (Janssen, 2010; Silva, 2006). O peso vivo dos animais é outro fator que exerce influência sobre as taxas de passagem e quantidade de alimentos fermentados. Alterando a cinética ruminal, a produção de AGV pelos microrganismos também é modificada e conseqüentemente a emissão de metano (Moraes et al., 2014).

Uma vez terminados os processos fermentativos ruminais, os nutrientes, degradados ou não, seguem para o abomaso e o intestino delgado passando por processos digestivos normalmente observados em animais monogástricos (Furlan et al., 2006).

2.3. Metanogênese

Os microrganismos ruminais são a principal fonte de proteína para os ruminantes, supondo-se que existam há mais de três bilhões de anos, com as metanogênicas entre as comunidades mais antigas. Durante esse longo período de simbiose, se adaptaram ao ponto de formar um ecossistema complexo e estável (Arcuri et al., 2006). No ano de 1776, um físico italiano chamado Alexandro Volta observou que em sedimentos de pântano havia formação de um gás combustível, mas, só posteriormente, demais cientistas descobriram que o gás CH₄ era produzido pela ação de microrganismos. Nestes locais, sua produção ocorre na decomposição de plantas mortas submersas em água, formando uma barreira que impede a entrada de oxigênio (O₂), permitindo o desenvolvimento de inúmeros microrganismos anaeróbicos (Barker, 1956). Inicialmente acreditava-se que os organismos metanogênicos pertenciam aos grupos bacterianos (Sirohi et al., 2008).

Em 1977, Carl Woese e George Fox, concluíram que o grupo em questão, domínio denominado *Archaea*, possuía um conjunto de características comuns entre si e distintas, tanto morfológicamente como metabolicamente, de outro domínio já conhecido, as bactérias (Bodas et al., 2012; Eme & Doolittle, 2015). Com funções muitas vezes desconhecidas, um número limitado de indivíduos deste domínio foi publicado. As espécies

de *Archaea* capazes de produzir CH₄ são denominadas metanogênicas e possuem uma ampla distribuição. Tendo sido encontradas em diversos nichos ecológicos, já foram isoladas do intestino de alguns artrópodes, plantações de arroz, rúmen de animais, intestino humano e também da cavidade oral (Moissl-Eichinger & Huber, 2011).

As espécies encontradas no rúmen pertencem ao filo *Euryarchaeota* e já foram cultivadas e isoladas as *Methanomicrobium mobile*, *Methanobacterium formicicum*, *Methanobacterium bryantii*, *Methanosarcina mazai*, *Methanosarcina barkeri*, *Methanobrevibacter ruminantium* e *Methanobrevibacter smithi* (Qiao et al., 2014). Com o avanço da biologia molecular houve a descoberta de uma grande diversidade de microrganismos, mas nem todos puderam ser isolados (Sirohi et al., 2008).

Em um meio anaeróbico, com um intervalo de pH ideal entre 6,0 e 8,0, as metanogênicas são capazes de utilizar substratos simples como H₂, formato, metanol, metilamina, acetato, entre outros, para obtenção de energia celular, culminando na produção de CH₄ (Sirohi et al., 2008). O pH ruminal é um dos principais determinantes das população microbianas predominantes, influenciando diretamente a concentração de CH₄ (Sejian et al., 2011).

Em geral, os organismos vivos utilizam-se da oxidação dos compostos como forma primária de formação de ATP. Mas esse processo é inviável quando se trata de microrganismos estritamente anaeróbicos, já que não podem utilizar o O₂ como um receptor de elétrons. Na ausência de O₂ disponível, a oxidação ocorre por reduções simultâneas interligadas (Russel, 2002). Com um potencial redox variando entre -250 mV e -450 mV, o rúmen é caracterizado por um ambiente sem oxigênio e com um excesso de potencial redutor, o que limita as reações metabólicas dos microrganismos. Eles são então forçados a trabalhar com esse excesso de equivalentes redutores, reduzindo todos os compostos possíveis (Valadares Filho & Pina, 2006). As reações de oxidação-redução, intrínsecas da fermentação anaeróbica, reduzem o CO₂ em CH₄ (Bodas et al., 2012).

A digestão dentro do rúmen ocorre em duas etapas. Primeiro há uma degradação enzimática do alimento, liberando inúmeros monômeros como açúcares, aminoácidos, glicerol e ácidos graxos. Em um segundo momento ocorre a fermentação desses componentes pela microbiota ruminal (Hill et al., 2016). Na conversão do alimento em CH₄, processo necessariamente anaeróbico, diversas espécies microbianas realizam uma série de reações integradas (Bhatta et al., 2014; Bodas et al., 2012). Dentre as bactérias e protozoários ruminais que fermentam carboidratos, nenhum é capaz de produzir CH₄, mas muito produzem

formato, CO_2 e H_2 como produtos finais. As metanogênicas se utilizam do CO_2 e H_2 para gerar energia e o CH_4 é obtido dessa reação. O formato também é aproveitado por elas para o mesmo propósito, sendo convertido em H_2 e CO_2 , mas é um precursor de menor importância (Janssen, 2010; Russel, 2002; Valadares Filho & Pina, 2006).

As metanogênicas ruminais reduzem o CO_2 pelo H_2 sucessivamente a CH_4 , exercendo um papel importante como principal meio de retirar o H_2 intra ruminal, conferindo condições para um ótimo funcionamento (Arcuri et al., 2006; Qiao et al., 2014). A manutenção de uma baixa pressão parcial de H_2 é um ponto crítico para se obter uma fermentação intensa (Bodas et al., 2012), já que sua presença leva a um efeito inibitório da degradação microbiana das plantas (Janssen, 2010). Envolvidos em uma relação simbiótica, há um benefício mútuo entre hospedeiro e metanogênicas em que o hospedeiro fornece às metanogênicas um ambiente livre de O_2 e substrato para produção de energia e em troca aumenta sua eficiência metabólica pela rápida remoção do H_2 (Moissl-Eichinger & Huber, 2011).

Uma vez produzido, o CH_4 não possui valor nutricional ao animal, sendo a maior parte exalada por eructação pela boca e narinas para a atmosfera (Hook et al., 2010; Kittelmann et al., 2014). O restante, entre 10% a 15%, é eliminado pela via respiratória ou por gases, quando proveniente da fermentação intestinal (Hill et al., 2016).

Por ser um potente GEE, seu acúmulo apresenta perigo ao meio ambiente. Além disso, todo o processo de formação de CH_4 demanda energia por parte do animal, pois se associa à perda de carbono pelo rúmen (Bhatta et al., 2014). Sua produção é uma das maiores ineficiências nos sistemas produtivos, gerando perdas entre 2% a 15% da energia bruta ingerida (Bodas et al., 2012). Essa relação direta entre produção de CH_4 e conversão alimentar faz desse gás um importante indicador de produtividade (Hill et al., 2016).

2.3.1. Fatores que influenciam a metanogênese

Cerca de 87% do metano entérico é produzido no rúmen, o restante é fermentado no intestino grosso dos ruminantes. Por ser um produto da fermentação do alimento por microrganismos, sua produção pode ser influenciada por diversos fatores intrínsecos à alimentação e digestão, como o nível de consumo alimentar, a taxa de passagem

da ingesta, o tipo de carboidrato fornecido ao animal e a manipulação da microbiota ruminal (Kumar et al., 2014). Ao mesmo tempo, verifica-se que a localização geográfica do rebanho também exerce influência sobre as taxas estimadas de emissão (Hook et al., 2010).

Como os sistemas de criação e a disponibilidade de alimentos estão diretamente relacionados com a situação econômica de uma população, ao se comparar a produção de CH₄ de países desenvolvidos e em desenvolvimento, observa-se que as quantidades produzidas diferem entre eles. As taxas estimadas da emissão por animal, em gramas por animal por dia (g/animal/dia), nos países desenvolvidos para bovinos, ovinos, caprinos e búfalos são 150,7 g/animal/dia, 21,9 g/animal/dia, 13,7 g/animal/dia e 137 g/animal/dia, respectivamente. Já nos países em desenvolvimentos as taxas para bovinos e ovinos são 95,9 g/animal/dia e 13,7 g/animal/dia, respectivamente (Sejian et al., 2010). A realidade brasileira reflete uma criação de rebanho predominantemente a pasto, observando-se uma pequena parcela em sistemas de criação intensivos, geralmente no período de terminação (Bustamante et al., 2012).

Nos rebanhos leiteiros, a gordura do leite é altamente dependente da composição da dieta e das características da fermentação ruminal. Devido a esse fato, estudos recentes demonstram haver uma relação entre a composição da gordura do leite e a emissão de CH₄. Em contrapartida, no mesmo estudo, a raça não demonstrou ser um fator de influência na predição da emissão de CH₄ (Moraes et al., 2014), embora animais selecionados geneticamente para obter melhores eficiências alimentares tendem a reduzir esses valores (Hill et al., 2016).

Em busca de uma produção animal mais eficiente e mais sustentável, diversas estratégias para reduzir a produção e emissão de CH₄ têm sido adotadas. As duas principais abordagens envolvem alterações na dieta fornecida ao animal e a manipulação direta do ecossistema ruminal por intervenções em sua microbiota (Kumar et al., 2014).

2.4. Alimentação e Produção de Metano Entérico

Desde as décadas de 1930 e 1940, estudos descreviam a relação da produção de CH₄ com o consumo de matéria seca e carboidratos, respectivamente (Moe & Tyrrell, 1979).

Em 1930, Kriss (Kiss, 1930) era categórico ao afirmar que a produção de metano é influenciada diretamente pelo consumo de carboidratos digestíveis da ração.

A fermentação de carboidratos estruturais resulta na formação de acetato e butirato, mas também de CH₄. Por sua vez, a fermentação de carboidratos não estruturais forma propionato, o qual atua de forma competitiva quanto ao uso de elétrons no rúmen, sendo acompanhado por uma diminuição total da produção de CH₄ (Bhatta et al., 2014). A relação entre o tipo de ácido graxo proveniente da fermentação bacteriana e a produção de CH₄ baseia-se na quantidade de H₂ que cada um forma durante o processo fermentativo. O acetato fornece quatro moléculas de H₂, enquanto o butirato e o propionato fornecem duas e uma moléculas respectivamente. Uma vez conhecidas as quantidades de ácidos acético, butírico e propiônico produzidas, pode-se calcular as quantidades teóricas de CO₂ e CH₄ geradas pela fermentação ruminal (Resende et al., 2006).

Além disso, dietas com altos teores proteicos favorecem o crescimento de populações de microrganismos proteolíticos. Já as dietas ricas em amido, conseqüentemente com baixo teor de fibra, são acompanhadas do crescimento de microrganismos utilizadores de amido. A relação entre alimento ingerido e o estímulo ao crescimento de determinadas populações pode ser observado ao se examinar microscopicamente partículas de forragem e de grãos. Ambas apresentarão colonização por microrganismos distintos, capazes de produzir um complexo enzimático necessário para a realização da digestão (Valadares Filho & Pina, 2006). Estudos genéticos também observaram comunidades bacterianas distintas em animais alimentados com diferentes tipos de forragem. A íntima relação entre a dieta e a população microbiana ruminal faz com que alterações no alimento ingerido pelo animal gerem um efeito em cascata no metabolismo do rúmen, impactando na composição da sua microbiota (Zhang et al., 2014). Estudos estimam que bovinos a pasto possuam uma população de metanogênicas de 10⁹ a 10¹⁰ g⁻¹, enquanto aqueles alimentados com concentrado apresentam valores de 10⁷ a 10⁹ g⁻¹ (Qiao et al., 2014).

A alimentação influencia a produção de CH₄, que dependendo do manejo na criação pode gerar maiores ou menores emissões. O fornecimento de uma composição adequada de grãos e forragem de melhor qualidade, assim como suplementos alimentares e sal mineral, melhora a digestibilidade e a eficiência produtiva dos animais, o peso de abate é atingido mais rapidamente e, conseqüentemente, ocorre uma menor emissão de CH₄ ao longo de sua vida (Bustamante et al., 2012; Pedreira & Primavesi, 2006; Sejian et al., 2010).

2.5. Calor Produzido na Metanogênese

Processos indispensáveis à sobrevivência dos animais, como se alimentar, digerir e metabolizar esse alimento são dependentes de energia (Resende et al., 2006). A perda de energia pelos animais, na forma de calor, é uma consequência inevitável de uma série de processos complexos e necessários para manutenção de sua vitalidade. Quando ocorre um processo metabólico dependente de energia consequentemente há produção de calor (MacRAE & Lobley, 1982).

Em 1783, Lavoisier e Laplace realizaram dois experimentos, que pela primeira vez relacionaram o calor dos animais ao consumo de O_2 e a formação de CO_2 , estabelecendo que a vida é um processo químico. Os estudos representaram um passo inicial no entendimento da bioenergia e da regulação metabólica (Bauman, 2000).

Na oxidação total de uma substância a CO_2 e água (H_2O), é liberada uma energia na forma de calor, denominada energia bruta (EB). Ao longo do processo digestivo, parte dessa energia é perdida na forma de fezes, sobrando a energia aparentemente digestível (ED). A oxidação incompleta de proteínas, principalmente ureia, excretada pela urina, e a fermentação anaeróbica, com a produção de gases combustíveis, principalmente o CH_4 , também geram perdas (Resende et al., 2006). Por representar parte da perda energética de um animal, as emissões de CH_4 entérico representam dois problemas na cadeia produtiva, queda na eficiência alimentar e produção de GEE (Chaokaur et al., 2014).

Uma vez descontadas essas perdas, há um remanescente energético denominado energia metabolizada (EM) (Resende et al., 2006). A EM pode ser definida como o calor da combustão do alimento menos o calor da combustão das fezes, urina e gases produzidos pela alimentação (Blaxter & Clapperton, 1965). Esta energia é a disponibilizada para o metabolismo do animal. Diversas funções do organismo levam a uma perda da EM na forma de calor, como o metabolismo basal, digestão, absorção, fermentação, formação e excreção de resíduos (Resende et al., 2006).

Nos sistemas de criação, um fator essencial para a produção é o consumo alimentar, mas que gera também um produto indesejado, o gás CH_4 (Waghorn & Hegarty, 2011). A produção de gases durante a fermentação ruminal dos alimentos leva a uma perda de

parte da energia absorvida pelo animal, sendo a maior perda de energia pelos gases na forma de CH₄ (Resende et al., 2006).

Um animal alimentado envolve quantidades consideráveis de calor, com uma média de aproximadamente 300 kJ por quilo metabólico (kg^{0,75}) para os mamíferos, sendo encontrados maiores valores para o gado e menores para as ovelhas. Na alimentação, o calor produzido por unidade de EM consumida aumenta de forma exponencial à medida que a ingestão aumenta (MacRAE & Lobley, 1982). Esse calor gerado é conhecido como incremento calórico e é consequente à alimentação (Armstrong & Blaxter, 1957).

Nas zonas tropicais, os alimentos disponíveis geralmente são forragens de baixa qualidade, muitas vezes pobres em nitrogênio e ED, atuando como um fator limitante da produtividade do rebanho (Chaokaur et al., 2014). Na Nova Zelândia e na América do Norte, por exemplo, entre os custos totais com a produção, a alimentação pode comprometer de 50% a 77%. Quando se altera a eficiência da utilização do alimento há uma melhora na produção e redução das emissões de CH₄ (Waghorn & Hegarty, 2011). Uma menor produção de CH₄ aumenta os níveis de EM disponível para o animal (Nussio et al., 2006)

2.6. Formas de Mensurar a Produção de Metano

A metanogênese é uma parte importante do metabolismo energético dos ruminantes e medir sua produção é um ponto crítico para compreender a produtividade do rebanho. Quando não é possível prever sua emissão com precisão tanto as estratégias para redução dos GEE quanto tentativas de aumento de produtividade do rebanho se tornam vagas, aleatórias e ineficientes (Hill et al., 2016). Por se tratar de uma perda gasosa, a mensuração das emissões de CH₄ requer o uso de equipamentos especializados (Moe & Tyrrell, 1979) e, ao se empregarem todas elas, deve-se atentar ao fato de que as emissões de CH₄ não são constantes, podendo variar tanto de um dia para o outro, como entre diferentes animais (Laubach & Kelliher, 2004).

Diversos métodos foram desenvolvidos para mensurar a produção de CH₄ por ruminantes, cada um apresentando vantagens e desvantagens. As câmaras respirométricas são referência em pesquisas, sendo os animais alojados individualmente, por dois a quatro dias, e as emissões de metano obtidas após comparação das concentrações dos gases que entram e

que saem da câmara (Huhtanen et al., 2014). É um método que permite a descrição das variações na emissão ao decorrer do dia e, por ser realizado em um ambiente controlado, apresenta confiabilidade. Mas o ambiente controlado não é vantajoso ao se tratar da expressão do comportamento natural do animal, podendo reduzir o consumo de matéria seca, diretamente relacionada à produção de metano. Outra desvantagem é seu alto custo de aquisição e manutenção (Moura et al., 2015).

No início da década de 1990, Johnson et al. (1994) descreveram uma técnica alternativa para a determinar a emissão de CH_4 , podendo ser utilizada no animal em seu habitat natural. É uma técnica que vem sendo muito difundida (Lassey, 2013) e é a única que pode ser utilizada enquanto o animal pasteja (Lassey et al., 2011). O método conta com um marcador de hexafluoreto de enxofre (SF_6) e baseia-se no fato das taxas de emissão de SF_6 simularem as taxas de CH_4 . É realizada a colocação intra-ruminal de um pequeno tubo de permeação contendo SF_6 e de um aparelho coletor de aço inoxidável acoplado a um tubo capilar que capta os gases eliminados pela boca e narinas. O tubo de permeação libera SF_6 a uma taxa previamente conhecida e as amostras de ar são coletadas continuamente.

Na técnica do marcador de SF_6 , para encontrar os valores de CH_4 é realizado um cálculo da razão entre a concentração de CH_4 para SF_6 encontrados na amostra e a taxa já conhecida de liberação de SF_6 (Berends et al., 2014). Algumas das dificuldades presentes no método são a manutenção de uma taxa constante de liberação de SF_6 a partir dos tubos de permeação, a utilização de tubos com taxas de liberação semelhantes em todos os animais e a ausência de fatores de correção dos resultados, uma vez que estudos comparativos dos métodos das câmaras respirométricas e marcadores de SF_6 observaram divergência de valores (Moura et al., 2015).

Outra técnica que também pode ser utilizada a campo é a do marcador interno CO_2 , na qual se analisa o ar com auxílio de um equipamento portátil. A partir de informações sobre energia metabolizada e produção de calor é calculada a proporção de carbono não metabolizado em CO_2 , mas excretado como CH_4 (Madsen et al., 2010). É uma técnica relativamente nova que permite que vários animais sejam avaliados simultaneamente e individualmente, tornando possível a comparação entre diferentes animais e dietas (Haque et al., 2014).

As técnicas *in vitro* como simulação de ambiente ruminal, simulação de fermentação e sistema de cultura contínua vêm sendo usadas nas últimas seis décadas na avaliação de aspectos nutricionais e nos estudos sobre fermentação ruminal e produção de

metano (Patra & Yu, 2013). A observação *in vitro* é uma ferramenta que simula a quantidade intra ruminal de CH₄ produzida, na qual o alimento é fermentado em fluido ruminal, dentro de um ambiente laboratorial controlado. Os gases provenientes da fermentação são analisados e o teor de CH₄ calculado. Entre as desvantagens deste método estão a necessidade de se obter o fluido ruminal, ausência de adaptação dos microrganismos ruminais ao alimento testado e a observação apenas da fermentação da ração (Storm et al., 2012).

Além dos métodos de mensuração citados existem outros com uso menos difundido ou em fase de estudos, como a termografia infravermelha. Montanholi et al. (2008), ao estudarem a resposta da temperatura da pele a eventos fisiológicos verificaram que a termografia infravermelha é uma potencial técnica para estimar a produção de CH₄.

2.7. Termografia Infravermelha

A termografia infravermelha é a capacidade de mensurar a temperatura superficial de objetos a partir de seus comprimentos de onda e intensidades, quando os valores se encontram dentro do espectro eletromagnético infravermelho. Grande parte dos objetos da superfície terrestre possui comprimento de onda entre 9 a 11 μm (Speakman & Ward, 1998), mas os comprimentos de onda eletromagnética podem variar de 700 nm a 1 mm (Sathiyabarathi et al., 2016). A radiação térmica é apenas uma porção desse espectro eletromagnético e envolve a transferência de calor de um objeto a outro sem que haja contato físico (Nääs et al., 2014). Quando os corpos se encontram com temperatura acima de 0 °C, a radiação é emitida e o campo eletromagnético é formado, podendo ser absorvido por outros objetos ao seu redor (McManus et al., 2016).

Dessa forma, o calor radiativo transferido pelos animais pode ser aferido sem que seja necessário contato com o equipamento mensurador. Isso porque as duas características da radiação, comprimento de onda e intensidade, podem ser utilizadas para calcular a temperatura superficial do objeto, pois variam de acordo com a temperatura que o corpo emite. Quanto maior a temperatura, menor o comprimento de onda em que a maior parte da radiação é emitida (Speakman & Ward, 1998). A explicação desta relação inversa baseia-se no fato de que a radiação eletromagnética é um fluxo de fótons, movendo-se em um

padrão ondulado e à velocidade da luz. E fótons de maior energia correspondem a comprimentos de onda mais curtos (Stewart et al., 2005).

A fim de avaliar a temperatura superficial de um corpo, é fundamental que também seja observado o coeficiente de emissividade (ϵ) do material (Nääs et al., 2014). A emissividade é a capacidade que um objeto tem de irradiar e absorver radiação, expressa como a razão entre radiação emitida por uma superfície e radiação emitida por um corpo negro ideal à mesma temperatura (Church et al., 2014). A quantidade total de energia de radiação irradiada ou absorvida por um animal depende da emissividade da sua pele (Sathiyabarathi et al., 2016), que pode estar alterada por sujidades presentes em sua superfície (Stewart et al., 2005).

A câmera termográfica é um equipamento de varredura que detecta radiações de calor dentro do intervalo infravermelho do espectro de luz, podendo precisar mudanças mínimas de temperatura. Os dados obtidos são processados e mostrados na forma de mapas de temperatura, fornecendo uma análise detalhada do campo térmico (Knížková et al., 2007). A imagem térmica criada é colorida e mostra a distribuição da temperatura superficial a partir de uma escala pré-definida, que relaciona cada cor a um intervalo de temperatura específico (Nääs et al., 2014; Alsaad et al., 2014).

Church et al. (2014) verificaram que fatores como incidência solar direta, presença de ventos e distância entre câmera e objeto alteravam significativamente as leituras pelos termógrafos e deveriam ser gerenciados, a fim de se obter resultados precisos. No estudo, a exposição ao sol levou a um aumento nos valores de temperatura da região ocular, enquanto ventos com maiores velocidades e o aumento da distância entre aparelho e animal levaram a um decréscimo. Fatores inerentes ao animal também exercem influência nas temperaturas aferidas. Paim et al. (2013) observaram que pode haver variação de temperatura de animais com diferenças na altura, cor, comprimento e densidade da pelagem e na espessura e densidade das glândulas sudoríparas da pele. Já tais características podem contribuir para maior ou menor absorção e dissipação de calor (McManus et al., 2011). Outros possíveis limitantes descritos na literatura e que devem ser considerados são condições climáticas, ritmos circadianos e ultracircadianos, tempo a partir da alimentação, ordenha e postura e a ruminação (Knížková et al., 2007).

A termografia infravermelha abrange diversas áreas da medicina veterinária, principalmente na detecção de mudanças de temperatura associadas a processos inflamatórios, em que a lesão tecidual leva a uma liberação local de mediadores da inflamação, aumentando

o fluxo sanguíneo e conseqüentemente a temperatura (Alsaod et al., 2014; Wood et al., 2015). Também é uma ferramenta útil na avaliação de estresse em animais (Nääs et al., 2014). Além disso, tem sido utilizada em estudos de eficiência alimentar. Na medicina humana, alguns dos campos estudados para aplicação são avaliação de distúrbios neurológicos, cirurgias cardíacas, doenças vasculares e problemas urológicos. As imagens térmicas também possuem uso potencial em outros setores, como na agricultura, para avaliar a viabilidade de sementes, na análise de solos, da qualidade da água e para estimar a pressão hídrica das culturas. Na indústria sua aplicação está voltada principalmente à avaliação de estruturas, investigação de fontes de perigo e de potenciais danos (Sathiyabarathi et al., 2016). Na construção civil, por exemplo, tem sido empregada na predição de regiões com alta umidade (Roberto et al., 2014).

2.8. Relação entre Produção de Metano, Calor e Termografia

Existem disponíveis diversas técnicas para estimar a produção e a emissão de metano, mas, de forma geral, implicam no uso de equipamentos de alto custo de aquisição e de operacionalização, invasivas e que necessitam da contenção do animal. Além disso, na análise de parâmetros fisiológicos e metabólicos, procedimentos invasivos como coleta de sangue, aferição de temperatura retal, frequência cardíaca e respiratória, podem gerar uma resposta ansiogênica, que altera os valores reais, dificultando a interpretação dos resultados obtidos. Uma alternativa, que simplifica a obtenção dos resultados, é a predição por intermédio de câmeras termográficas. Quando comparada aos métodos tradicionais, a termografia infravermelha apresenta um grau bem menor de complexidade, podendo ser considerada como um método não invasivo (McManus et al., 2016).

Os requerimentos para manutenção do animal representam uma considerável perda energética, manifestada na forma de produção de calor que é refletida como uma variação na temperatura da superfície corporal. De acordo com os processos metabólicos, cada parte do corpo possui uma relação distinta com a produção de calor e com medidas de eficiência energética. As temperaturas das costelas e do traseiro, por exemplo, possuem menor correlação com a produção de calor do que a do pé (Montanholi et al., 2009).

Quando se trata de produtividade do rebanho, estudos metabólicos demonstram uma relação entre eficiência da produção, formação de metano e perda de calor (McManus et al., 2016). Animais mais eficientes possuem menor temperatura superficial em comparação a animais menos eficientes (Montanholi et al., 2009), pois a atividade metabólica elevada leva a um aumento da temperatura superficial da pele (Alsaad et al., 2015). Quando há aumento de mecanismos fisiológicos ocorre, conseqüentemente, um maior gasto energético (Nääs et al., 2014).

No intuito de melhorar a eficiência alimentar e diante da complexidade dos métodos tradicionais, novas alternativas estão sendo buscadas para identificar e selecionar os animais com melhores produtividades. Sabendo da relação da eficiência alimentar com a produção de CH₄ e calor, uma alternativa em potencial, capaz de aferir a temperatura da superfície corporal e que pode ser relacionada a diversos processos fisiológicos, é a termografia infravermelha. Além de outras vantagens como simplicidade no uso, baixo custo, fácil obtenção e ser considerado um método não invasivo (Montanholi et al., 2008). Sua aplicabilidade baseia-se no fato de que nos animais cerca de 40% a 60% das perdas de calor estão dentro da faixa de comprimento de onda de radiação infravermelha (Stewart et al., 2005).

Quando estudada a aplicação da câmera termográfica infravermelha como indicador de produção de calor e metano, Montanholi et al. (2008) observaram que a maioria dos valores aferidos não apresentava correlação significativa com o CH₄. Exceto nas diferenças de temperatura entre flancos direito e esquerdo, que foram acompanhadas por um padrão de emissão de metano, com aumento de produção imediatamente após as duas refeições e com concentrações maiores encontradas nos períodos pós prandiais. Isso pode ser explicado pela proximidade entre flanco esquerdo e saco dorsal do rúmen, sendo esta região um bom indicativo do incremento calórico da alimentação, que para bovinos ocorre de uma a duas horas após a refeição. Já os valores encontrados no flanco direito refletem a temperatura central corpórea. Eles concluíram que para ter acesso à produção de CH₄ pela termografia infravermelha, o período de até 100 minutos após a refeição (pós prandial), foi o que apresentou melhores correlações.

Dessa forma, novas tecnologias, como a termografia infravermelha, apresentam alternativas mais acessíveis para serem aplicadas no auxílio da redução de GEE e do aumento da produtividade do rebanho (Roberto et al., 2014).

3.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALSAAOD, M.; SYRING, C.; DIETRICH, J.; DOHERR, M.G.; GUJAN, T.; STEINER, A. A field trial of infrared thermography as a non-invasive diagnostic tool for early detection of digital dermatitis in dairy cows. **The veterinary Journal**, v. 199, p. 281-285, 2014.

ALSAAOD, M.; SYRING, C.; LUTERNAUER, M.; DOHERR, M.G.; STEINER, A. Effect of routine claw trimming on claw temperature in dairy cows measured by infrared thermography. **J. Dairy Sci**, v. 98, p. 2381-2388, 2015.

ARCURI, P.B.; LOPES, F.C.F; CARNEIRO, J.C. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. 1ed. Editora FUNEP, 2006, p. 111-150.

ARMSTRONG, D.G.; BLAXTER, K.L. The heat increment of steam-volatile fatty acids in fasting sheep. **The British Journal of Nutrition**, v. 11, n. 3, p. 247-272, 1957.

BARKER, H.A. Biological formation of methane. **Industrial and Engineering Chemistry**. v. 48, n. 9, p.1438-1444, 1956.

BASSO, L.S.; GATTI, L.V.; GLOOR, M.; MILLER, J.B.; DOMINGUES, L.G.; CORREIA, C.S.C.; BORGES, V. F. Seasonality and interannual variability of CH₄ fluxes from the eastern Amazon Basin inferred from atmospheric mole fraction profiles. **J. Geophys. Res. Atmos.**, v. 121, p.168–184, 2016.

BAUMAN, D.E. Regulation of Nutrient Partitioning During Lactation: Homeostasis and Homeorhesis. In: **Ruminant physiology**. Editora CABI Publishing, 2000, p. 311-328.

BEAUCHEMIN, K.A. Effects of ingestive and ruminative mastication on digestion of forage by cattle. **Animal Feed Science and Tehnology**, v. 40, p. 41-56, 1992.

BERCHIELLI, T.T.; MESSANA, J.D.; CANESIN, R.C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.** v.13, n.4, p. 954-968, 2012.

BERENDS, H.; GERRITS, W.J.; FRANCE, J.; ELLIS, J.L.; VAN ZIJDERVELD, S.M.; DIJKSTRA, J. Evaluation of the SF₆ tracer technique for estimating methane emission rates with reference to dairy cows using a mechanistic model. **J. Theor. Biol.**, v. 353:p. 1-8, 2014.

BHATTA, R.; SARAVANAN, M.; BARUAH, L.; PRASAD, C.S. Effects of graded level of tannin-containing tropical tree leaves on in vitro rumen fermentation, total protozoa and methane production. **Journal of Applied Microbiology**, v. 118, p. 557-564, 2014.

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

BODAS, R.; PRIETO, N.; GARCÍA-GONZÁLEZ, R.; ANDRÉS, S.; GIRÁLDEZ, F.J.; LÓPEZET, S. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. **Animal Feed Science and Technology**, v. 176, p. 78-93, 2012.

BUSTAMANTE, M.M.C.; NOBRE, C.A.; SMERALDI, R.; AGUIAR, A.P.D.; BARIONI, L.G.; FERREIRA, L.G.; LONGO, K.; MAY, P.; PINTO, A.S.; OMETTO, J.P.H.B. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. **Climatic Change**, v. 115, p. 559–577, 2012.

CARO, D.; DAVIS, S.J.; BASTIANONI, S.; CALDEIRA, K. Global and regional trends in greenhouse gas emissions from livestock. **Climatic Change**, v.126, p. 203–216, 2014.

CHAOKAUR, A.; NISHIDA, T.; PHAOWPHAISAL, I.; SOMMART, K. Effects of feeding level on methane emissions and energy utilization of Brahman cattle in the tropics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.199, p. 225–230, 2014.

CHURCH, J.S.; HEGADOREN, P.R.; PAETKAU, M.J.; MILLER, C.C.; REGEV-SHOSHANI, G.; SCHAEFER, A.L.; SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K.S. Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle. **Research in Veterinary Science**, v. 96, p. 220–226, 2014.

CLAUSS, M.; LECHNER, I.; BARBOZA, P.; COLLINS, W.; TERVOORT, T.A.; SÜDEKUM, K.; CODRON, D.; HUMMEL, J. The effect of size and density on the mean retention time of particles in the reticulorumen of cattle (*Bos primigenius f. taurus*), muskoxen (*ovibos moschatus*) and moose (*Alces alces*). **British Journal of Nutrition**, v. 105, p. 634–644, 2011.

ELLIS, J.L.; KEBREAB, E.; ODONGO, N.E.; MCBRIDE, B.W.; OKINE, E.K.; FRANCE, J. Prediction of methane production from dairy and beef cattle. **J. Dairy Sci.**, v. 90, n. 7, p. 3456-66, 2007

ELLIS, J.L.; BANNINK, A.; FRANCE, J.; KEBREAB, E.; DIJKSTRA, J. Evaluation of enteric methane prediction equations for dairy cows used in whole farm models. **Global Change Biology**, v. 16, p. 3246–3256, 2010.

EME, L.; DOOLITTLE, W.F. Archaea. **Curent Biology Magazine**, v. 25, p. 851-855, 2015.

EPA, United States Environmental Protection Agency. Global anthropogenic non-CO₂ greenhouse gas emission: 1990-2030 [2012]. Disponível em: <<https://www.epa.gov/global-mitigation-non-co2-greenhouse-gases/global-anthropogenic-non-co2-greenhouse-gas-emissions>> Acesso: 14/11/2016.

FURLAN, R.L.; MACARI, M.; FILHO, D.E.F. Anatomia e fisiologia do trato gastrintestinal. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. 1ed. Editora FUNEP, 2006, p. 1-23

HACKMANN, T.J.; SPAIN, J. N. Invited review: Ruminant ecology and evolution: Perspectives useful to ruminant livestock research and production. **J. Dairy Sci.**, v. 93, p. 1320–1334, 2010

HAQUE, M.N.; CORNOU, C.; MADSEN, J. Estimation of methane emission using the CO₂ method from dairy cows fed concentrate with different carbohydrate compositions in automatic milking system. **Livestock Science**, v. 164, p. 57-66, 2014.

HERD, R.M.; ARTHUR, P.F.; DONOGHUE, K.A.; BIRD, S.H.; BIRD-GARDINER, T.; HEGARTY, R.S. Measures of methane production and their phenotypic relationships with dry matter intake, growth, and body composition traits in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.92, p.5267–5274, 2014.

HILL, J.; MCSWEENEY, C.; WRIGHT, A.G.; BISHOP-HURLEY, G.; KALANTAR-ZADEH, K. Measuring methane production from ruminants. **Trends in Biotechnology**, v. 34, n.1, p. 26-35, 2016.

HOOK, S.; WRIGHT, A.G.; MCBRIDE, B.W. Review article - Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies. **Hindawi Publishing Corporation**, v. 2010, p. 1-11, 2010.

HUHTANEN, P.; CABEZAS-GARCIA, E.H.; UTSUMI, S.; ZIMMERMAN, S. Comparison of methods to determine methane emissions from dairy cows in farm conditions. **J. Dairy Sci.**, v. 98, p. 3394–3409, 2014.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change [2007] – AR4, chapter 1. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch1.html > Acesso: 23/11/2016.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change [2012]. Annex II – Glossary of Terms. Disponível em: < www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_Glossary.pdf > Acesso: 24/11/2016.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change [2014]. Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf > Acesso: 18/11/2016.

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.

JOHNSON, K.; HUYLER, M.; WESTBERG, H.; LAMB, B.; ZIMMERMAN, P. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF₆ tracer technique. **Environ. Sci. Technol.**, v. 28, n. 2, p 359–362, 1994.

KITTELMANN, S.; PINARES-PATINÑO, C.S.; SEEDORF, H.; KIRK, M.R.; GANESH, S.; MCEWAN, J.C.; JANSSEN, P.H. Two different bacterial community types are linked with the low-methane emission trait in sheep. **PLoS ONE** **9**, v. 7, p. 1-9, 2014.

KNÍŽKOVÁ, I.; KUNC, P.; GÜRDIL, G.A.K.; PINAR, Y.; SELVI, K.Ç. Applications of infrared thermography in animal production. **J. of Fac. of Agric.**, v. 22, n. 3, p. 329-336, 2007.

KRISS, M. Quantitative relations of the dry matter of the food consumed, the heat production, the gaseous outgo, and the insensible loss in body weight of cattle. **Journal of Agricultural Research**, v. 40, n. 3, p. 283-295, 1930.

KUMAR, S.; CHOUDHURY, P.K.; CARRO, M.D.; GRIFFITH, G.W.; DAGAR, S.S.; PUNIYA, M.; CALABRO, S.; RAVELLA, S.R.; DHEWA, T.; UPADHYAY, R.C.; SIROHI, S.K.; KUNDU, S.S.; WANAPAT M.; PUNIYA, A.K. New aspects and strategies for methane mitigation from ruminants. **Appl Microbiol Biotechnol.**, v. 98, p. 31–44, 2014.

LACROIX, A.V. Unaccounted-for sources of fossil and isotopically-enriched methane and their contribution to the emissions inventory: a review and synthesis. *Chemosphere*, Vol.26, Nos. 1-4, p. 507-557, 1993

LASSEY, K.R. On the importance of background sampling in applications of the SF₆ tracer technique to determine ruminant methane emissions. **Animal Feed Science and Technology**. v.180, p. 115– 120, 2013.

LASSEY, K.R.; PINARES-PATINÑO, C.S.; MARTIN, R.J.; MOLANO, G.; MCMILLAN, A.M.S. 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.

LAUBACH, J.; KELLIHER, F.M. Measuring methane emission rates of dairy cow herd by two micrometeorological techniques. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 125, p. 279– 303, 2004.

MACRAE, J.C.; LOBLEY, G.E. Some factors which influence thermal energy losses during the metabolism of ruminants. **Livestock Production Science**, v. 9, p. 447-456, 1982.

MADSEN, J.; BJERG, B.S.; HVELPLUND, T.; WEISBJERG, M.R.; LUND, P. Methane and carbon dioxide ratio in excreted air for quantification of the methane production from ruminants. **Livestock Science**, v.129, n. 1-3, p. 223-227, 2010.

MCMANUS, C.; LOUVANDINI, H.; GUGEL, R.; SASAKI, L.C.B.; BIANCHINI, E.; BERNAL, F.E.M.; PAIVA, S.R.; PAIM, T.P. Skin and coat traits in sheep in Brazil and their relation with heat tolerance. **Trop. Anim. Health Prod.**, v. 43, p. 121–126, 2011.

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

MOE, P. W.; TYRRELL, H. F. Methane production in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 62, n. 10, p. 1583–1586, 1979.

MOISSL-EICHINGER, C.; HUBER, H. Archaeal symbionts and parasites. **Current Opinion in Microbiology**, v. 14, p. 364–370, 2011.

MONTANHOLI, Y.R.; ODONGO, N.E.; SWANSON, K.C.; SCHENKEL, F.S.; MCBRIDE, B.W.; MILLER, S. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, p. 468–475, 2008.

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

MORAES, L.E.; STRATHE, A.B.; FADEL, J.G.; CASPER, D.P.; KEBREAB, E. Prediction of enteric methane emissions from cattle. **Global Change Biology**, v. 20, p. 2140–2148, 2014.

MOURA, A.M.; GONÇALVES, L.C.; FERREIRA, P.D.S.; CÔRTEZ, I.H.G.; CRUZ, D.S.G.; MELGAÇO, F.P.; OLIVEIRA, J.P.C.A.; DINIZ, T.H.F. Métodos para medir a emissão individual de metano por ruminantes. **Nutritime Revista Eletrônica**, v.12, n.6, p.4435-4440, 2015.

MUNN, A.J.; DAWSON, T. J.; MCLEOD, S. R. Feeding biology of two functionally different foregut-fermenting mammals, the marsupial red kangaroo and the ruminant sheep: How physiological ecology can inform land management. **Journal of Zoology**, v. 282 226, p. 226–237, 2010.

NÄÄS, I.A.; GARCIA, R.G.; CALDARA, F.R. Infrared thermal image for assessing animal health and welfare. **J. Anim. Behav. Biometeorol.**, v. 2, n. 3, p. 66-72, 2014.

NICOL, A.U.; PERENTOS, N.; MARTINS, A.Q.; MORTON, A.J. Automated detection and characterization of rumination in sheep using *in vivo* electrophysiology. **Physiology & Behavior**, v. 163, p. 258–266, 2016.

NUSSIO, L.G.; CAMPOS, F.P.; LIMA, M.L.M. Metabolismo de carboidratos estruturais In: BERCHIELLI, T.T., PIRES, A.V., OLIVEIRA, S.G.. **Nutrição de Ruminantes**. 1ed. Editora FUNEP, 2006, p. 183-228

PAIM, T.P.; BORGES, B.O.; LIMA, P.M.T.; GOMES, E.F.; DALLAGO, B.S.L.; MENEZES, R.F.A.M.; LOUVANDINI, H.; CANOZZI, M.E.A.; BARCELLOS, J.O.J.; MCMANUS, C. Thermographic evaluation of climatic conditions of lambs from different genetic groups. **Int. J. Biometeorol.**, v. 57, p. 59–66, 2013.

PATRA, A.K.; YU, Z. Effects of gas composition in headspace and bicarbonate concentrations in media on gas and methane production, degradability, and rumen fermentation using *in vitro* gas production techniques. **Journal Dairy Science**, v. 96, p. 4592-4600, 2013.

PEDREIRA, M.S.; PRIMAVESI, O. Impacto da produção animal sobre o ambiente. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. 1ed. Editora FUNEP, 2006, p. 497-51.

PINARES-PLATIÑO, C.S.; LASSEY, K.R.; MARTIN, R.J.; MOLANO, G.; FERNANDEZ, M.; MACLEAN, S.; SANDOVAL, E.; LUO, D.; CLARK, H. Assessment of the sulfur hexafluoride (SF₆) tracer technique using respiration chambers for estimation of methane emissions. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166-167, p. 201-209, 2011.

PRATHER, M.; HOLMES, C.D.; HSU, J. Reactive greenhouse gas scenarios - Systematic exploration of uncertainties and the role of atmospheric chemistry. **Geophysical Research Letters**, v. 39, 2012.

QIAO, J.; TAN, Z.; WANG, M. Potential and existing mechanisms of enteric methane production in ruminants. **Sci. Agric.**, v. 71, n. 5, p. 345-355, 2014

RESENDE, K.T.; TEIXEIRA, I.A.M.A.; FERNANDES, M.H.M.R. Metabolismo de energia. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. 1ed. Editora FUNEP, p. 311-332, 2006.

RITCHER, R.K.; MING, T.; CAILLOLA, S.; LIU, W. Fighting global warming by GHG removal: destroying CFCs and HCFCs in solar-wind power plant hybrids producing renewable energy with no-intermittency. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 49, p. 449-472, 2016.

ROBERTO, J.V.B.; SOUZA, B.B.; FURTADO, D.A.; DELFINO, L.J.B.; MARQUES, B.A.A. Thermal gradients and physiological responses of goats in the Brazilian semi-arid using thermography infrared. **J. Anim. Behav. Biometeorol.**, v. 2, n. 1, p. 11-19, 2014.

RUSSEL, J. B. Predominant Ruminant Bacteria and Archaea. In: **Rumen microbiology and its role in ruminant nutrition**. 2002, p. 18-24.

SATHIYABARATHI, M.; JEYAKUMAR, S.; MANIMARAN, A.; JAYAPRAKASH, G.; PUSHPADASS, H.A.; SIVARAM, M.; RAMESHA, K.P.; DAS, D.N.; KATAKTALWARE, M.A.; PRAKASH, M.A.; KUMAR, R.D. Infrared thermography: a potential non-invasive tool to monitor udder health status in dairy cows. **Veterinary World**, v. 9, n. 10, p. 1075-1081, 2016.

SEJIAN, V.; LAL, R.; LAKRITZ, J.; EZEJI, T. Measurement and prediction of enteric methane emission. **Int. J. Biometeorol.**, v. 55, p. 1-16, 2010.

SILVA, J.F.C. Mecanismos reguladores de consumo In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. 1ed. Editora FUNEP, 2006, p. 57-78.

SIROHI, S. K.; PANDEY, N.; SINGH, B.; PUNIYA, A.K. Rumen methanogens: a review. **Indian J. Microbiol.**, v. 50, p. 253-262, 2010.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCAR, B.; OGLE, S.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLLES, B.; SIROTENKO, O.; HOWDEN, M.;

MCALLISTER, T.; PAN, G.; ROMANENKOV, V.; SCHNEIDER, U.; TOWPRAYOON, S.; WATTENBACH, M.; SMITH, J. Greenhouse gas mitigation in agriculture. **Phil. Trans. R. Soc.**, v. 363, p. 789–813, 2008.

SPART, C.J, MONTEIL, G.; PROKOPIOU, M.; VAN DE WAL, R.S.W.; KAPLAN, J.O.; SPERLICH, P.; KRUMHARDT, K.M.; VAN DER VEEN, C.; HOUWELING, S.; KROL, M.C.; BLUNIER, T.; SOWERS, T.; MARTINERIE, P.; WITRANT, E.; DAHL-JENSEN, D.; RÖCKMANN, T. Natural and anthropogenic variations in methane sources during the past two millennia. **Nature**, v. 490, |p. 85-88. 2012.

SPEAKMAN, J.; WARD, S. Infrared thermography principles and applications. **Zoology**, v. 101, n. 3,p. 224-232, 1998.

STEELE, M.A.; GARCIA, F.; LOWERISON, M.; GORDON, K.; METCALF, J. A.; HURTIG, M. Technical note: Three-dimensional imaging of rumen tissue for morphometric analysis using micro-computed tomography. **J. Dairy Sci.**, v. 97, p. 7691–7696, 2014.

STEUER, P.; SÜDEKUM, K.; MÜLLER, D.W.H.; KAANDORP, J.; CLAUSS, M.; HUMMEL, J. Fibre digestibility in large herbivores as related to digestion type and body mass — An in vitro approach. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 164, p. 319–326, 2013.

STEWART, M.; WEBSTERT, J.R.; SCHAEFER, A.L.; COOK, N.J. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. **Animal Welfare**, v. 14, p. 319-325, 2005.

STORM, I.M.L.D.; HELLWING, A.L.F.; NIELSEN, N.I.; MADSEN, J. Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants. **Animals**, v. 2, p. 160-183. 2012.

SUZUKI, T.; TAKUSARI, N.; HIGUCHI, K.; KURIHARA, M.; TERADA, F. Energy expenditure for chewing in sheep fed timothy or sudangrass hay at the same intake level. **Animal Science Journal**, v. 79, p. 590–596, 2008.

UNEP E GEAS (Article reproduced from United Nations Environment Programme (UNEP) Global Environmental Alert Service (GEAS)). Growing greenhouse gas emissions due to meat production. **Environmental Development**, v. 5, p. 156–163, 2013.

VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. Fermentação Ruminal. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. 1ed., Editora FUNEP, 2006, p. 151-182.

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.

WOOD, S.; LIN, Y.; KNOWLES, T.G.; MAIN, D.C.J. Infrared thermometry for lesion monitoring in cattle lameness. **Veterinary Record**, 2015.

YAMAMOTO, Y.; ATOJI, Y.; SUZUKI, Y. Morphological study of the submucosal and mucosal plexuses of the sheep forestomach. **Ann. Anat.**, v. 177, p. 405 – 412, 1995.

ZHANG, R.; ZHU, W.; ZHU, W.; LIU, J.; MAO, S. Effect of dietary forage sources on rumen microbiota, rumen fermentation and biogenic amines in dairy cows. **J Sci Food Agric.**, v. 94, p. 1886–1895, 2014.

CAPITULO 2

O USO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA COMO INDICADOR DA PRODUÇÃO DE METANO EM OVINOS

RESUMO

O USO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA COMO INDICADOR DA PRODUÇÃO DE METANO EM OVINOS

Maíra de Carvalho Porto Barbosa¹, Concepta Margaret McManus Pimentel¹

¹Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, Brasília/DF.

Palavras-chaves: metanogênese; produção de calor; imagem termográfica; incremento calórico; digestão ruminal.

As metodologias atuais para prever a produção de metano possuem desvantagens como alto custo de aquisição e implementação, impossibilidade de conciliar avaliação do animal a pasto com resultados mais precisos, e demanda de tempo para as aferições. A termografia infravermelha é uma tecnologia alternativa para mensurar a quantidade de metano produzida e tem como vantagens um baixo custo, rapidez e eficiência na obtenção de resultados. O objetivo do estudo foi determinar se a termografia infravermelha é adequada para a predição da emissão de metano em ovelhas e qual o melhor horário após a alimentação para realizar a mensuração. Doze cordeiras da raça Santa Inês permaneceram por dois dias em câmaras respirométricas, em sistema semifechado, para determinar a produção de metano. Os animais foram divididos em dois tratamentos, de acordo com a alimentação fornecida. Durante esse período foram realizados sete registros com as câmeras termográficas, nos tempos -1h, -0,5h, 0h, 0,5h, 1h, 2h, 3h, 5h e 7h, de acordo com o horário de fornecimento do alimento, definido como 0h. A cada 24 horas foram mensuradas a produção de metano. Pelas imagens termográficas foram medidas as temperaturas máxima, mínima, média e do ponto dos flancos esquerdo e direito. Para cada horário foi calculada a diferença de temperaturas entre os flancos esquerdo e direito (esquerdo menos direito). Os dados foram submetidos à análise estatística, testando coeficiente de correlação de Pearson, regressão múltipla e análise de componentes principais. O horário da alimentação foi o que apresentou melhores resultados para a predição do consumo de matéria seca. Na hora sete foram observados valores estatísticos significativos, sugerindo um novo pico de produção de metano. O tempo três horas após alimentação, para ovinos, foi considerado o ideal para prever a produção de metano com o uso de imagens de termografia infravermelha.

ABSTRACT

THE USE OF INFRARED THERMOGRAPHY AS AN INDICATOR OF METHANE PRODUCTION IN SHEEP

Maíra de Carvalho Porto Barbosa¹, Concepta Margaret Mcmanus Pimentel¹

¹Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, Brasília/DF.

Key-words: methanogenesis; heat production; thermographic image; caloric increase; ruminal digestion.

Current methodologies to predict methane production have disadvantages such as high acquisition and implementation costs, impossibility of reconciling animal evaluation with pasture with more accurate results, and time demand for measurements. Infrared thermography is an alternative technology for measuring the amount of methane produced and has the advantages of low cost, speed and efficiency in obtaining results. The objective of the study was to determine if the infrared thermography is adequate for predicting the emission of methane in sheep and the best time after feeding to carry out the measurement. Twelve Santa Inês lambs remained for two days in respirometric chambers, in a semi-closed system, to determine the production of methane. The animals were divided into two treatments, according to the diet provided. During this period, seven records were made with the thermographic cameras, at times -1h, -0.5h, 0h, 0.5h, 1h, 2h, 3h, 5h, and 7h, according to the feeding time, defined as 0h. Methane production was measured every 24 hours. By the thermographic images were measured the maximum, minimum, average and point temperatures at the left and right flanks. For each time, the temperature difference between the left and right flanks (left minus right) was calculated. Data were submitted to statistical analysis, testing Pearson correlation coefficient, multiple regression and principal component analysis. The feeding schedule presented the best results for the prediction of dry matter intake. At hour seven, significant statistical values were observed, suggesting a new peak of methane production. For sheep, the time three hours after feeding was considered ideal to predict the production of methane with the use of infrared thermography images.

1.INTRODUÇÃO

Nos últimos séculos, as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera aumentaram, causando maior absorção de radiação infravermelha e contribuindo para inúmeras alterações climáticas (IPCC 2014; Richter et al., 2016). Cerca de 25% das emissões gerais de GEE são provenientes da agropecuária, sendo o gás metano (CH₄) o de maior contribuição para esses valores (Smith et al., 2008).

Os ruminantes são animais herbívoros capazes de digerir alimentos fibrosos, de baixa ou nenhuma digestibilidade (Steuer et al., 2013). Para que a fibra seja degradada, absorvida e aproveitada pelo animal, ocorre um processo fermentativo anaeróbico dentro dos pré-estômagos (Furlan et al., 2006). Dentro do rúmen, na ausência de oxigênio, com pH entre 5,6 a 6,7 e temperatura média de 39°C, os microrganismos encontram condições ideais para degradar essa fibra (Janssen, 2010). No entanto, durante a fermentação microbiana há produção de um gás incolor e inodoro, não aproveitado pelo animal, o gás metano, gerando uma perda energética de 2 a 12% (Ellis et al., 2010).

Como o metano é formado por microrganismos, durante a fermentação do alimento, fatores relacionados com a alimentação e digestão influenciam sua produção. Entre eles estão o nível de consumo alimentar, a taxa de passagem da ingesta, o tipo de carboidrato fornecido ao animal e a manipulação da microbiota ruminal (Kumar et al., 2014). Desde as décadas de 1930 e 1940, estudos descreviam a relação da produção de CH₄ com o consumo de matéria seca e carboidratos, respectivamente (Moe & Tyrrell, 1979). A existência de correlação positiva entre consumo de matéria seca e produção de metano faz dessa relação uma das mais importantes na metanogênese (Herd et al., 2014). Fato que pode ser explicado pela influência que a dieta possui na quantidade e tipos de microrganismos ruminais (Zhang et al., 2014). O manejo alimentar é responsável por gerar maiores ou menores emissões de

metano (Sejian et al., 2010), que, por sua vez, relaciona-se com o peso do animal (Arthur & Herd, 2008).

Para que se possam reduzir a produção de metano, é preciso que as quantidades emitidas sejam conhecidas, caso contrário, tanto as estratégias para redução dos GEE quanto tentativas de aumento de produtividade do rebanho se tornam vagas, aleatórias e ineficientes (Hill et al., 2016). Existem métodos tradicionais de mensuração de metano, como a câmara respirométrica, marcador hexafluoreto de enxofre, produção *in vitro* de gases para medição de metano e marcador interno dióxido de carbono. Mas, apesar de possuírem suas indicações e vantagens, muitas vezes são desvantajosos por demandarem alto custo de aquisição e implementação, necessidade de confinamento, baixa precisão com os animais a pasto ou período longo entre início e término das aferições (Moura et al., 2015). Por esses motivos, novas tecnologias, como a termografia infravermelha, apresentam alternativas mais acessíveis para serem aplicadas no auxílio da redução de GEE e do aumento da produtividade do rebanho (Roberto et al., 2014).

A termografia infravermelha já vem sendo utilizada em diversas áreas da medicina humana e veterinária (Wood et al., 2015). Consiste em uma técnica capaz de aferir a temperatura superficial, com resultados que se relacionam com diversos processos fisiológicos e com vantagens como ser um método não invasivo, de uso simples e fácil obtenção (Montanholi et al., 2008). Outra grande vantagem, em comparação aos demais métodos, é poder ser usada à distância, sem a necessidade de contato físico com o animal, além de possuir baixo custo e obter resultados de forma rápida e eficiente (McManus et al., 2016).

Os processos de alimentação, digestão e metabolismo do alimento requerem energia, que aparece na forma de calor (Resende et al. 2006). Isso faz com que a termografia infravermelha seja uma das alternativas existentes para mensurar as emissões de CH₄ (Montanholi et al., 2008), já que nos animais cerca de 40% a 60% das perdas de calor estão dentro da faixa de comprimento de onda de radiação infravermelha (Stewart et al., 2005). Considerando esses fatores, o objetivo da pesquisa foi observar a quantidade de metano produzida por dia, em animais confinados em câmaras respirométricas, e as imagens termográficas e, após análises, verificar se é possível utilizar a termografia infravermelha como um indicador da produção de metano em ovinos.

2.MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de 20 a 24 de setembro de 2012, nas dependências do Laboratório de Nutrição Animal do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo, Piracicaba - São Paulo/Brasil, a 546 metros de altitude e a uma pressão atmosférica de 94 kPa.

Doze cordeiras da raça Santa Inês, de doze meses de idade, previamente identificadas, permaneceram por dois dias em câmaras respirométricas, em sistema semifechado, para determinar a produção de metano. Foram fornecidos dois tipos de alimento aos animais. Seis receberam uma mistura em proporções iguais de seis taníferas (*Combretum leprosum*, *Thiloa glaucocarpa*, *Orbignya phalerata*, *Trema micranta*, *Cenostigma macrophyllu* e *Leucaena leucocephala*) e os demais feno de Tifton. A água foi disponibilizada à vontade na gaiola. Todos os animais estavam pré-adaptados à dieta, mas não houve adaptação prévia à câmara respirométrica. Durante os dois dias de confinamento o alimento foi fornecido uma vez ao dia e os registros termográficos realizados antes, durante e após alimentação. A cada 24 horas foi mensurada a produção de metano com o auxílio de um cromatógrafo a gás.

A metodologia utilizada nas câmaras respirométricas foi a mesma descrita por Abdalla et al. (2012), na qual foram adaptadas gaiolas de metabolismo comuns em câmaras de respiração de confinamento. As câmaras possuíam medidas de 157 x 71 x 167 cm, totalizando um volume de 1,9 m³ e eram forradas em todos os lados com uma lona de polietileno de 0,3 mm de espessura. Dois orifícios de cinco centímetros de diâmetro, um de entrada frontal e outro de saída traseiro, permitiam as trocas gasosas do meio externo para o interior da câmara e deste para o exterior respectivamente. Para que os gases de dentro da câmara pudessem ser

recolhidos, foi instalada uma bomba de exaustão no orifício da parte de trás, que realizava a remoção do ar interno. Os valores do volume colhido de ar encontram-se na Tabela 2.2.

Para se obter a quantidade de metano produzida, o ar removido foi acondicionado em um balão contendo uma bomba peristáltica e revestido com película de alumínio com volume de cinco litros e vazão de 100 mL/min. O metano presente no ar do balão foi quantificado por meio da cromatografia gasosa (Shimadzu GC-2014, SINC Brasil, São Paulo, Brasil).

O experimento ocorreu em duas etapas, em que metade dos animais foi observada nos dois primeiros dias, de 20/09 a 21/09 e 21/09 a 22/09, e a outra metade nos dois últimos dias, 22/09 a 23/09 e 23/09 a 24/09. Baseando-se no horário de fornecimento do alimento, definido como 0h, foram realizados sete registros com as câmeras termográficas (figura 2.1), nos tempos -1h, -0,5h, 0h, 0,5h, 1h, 2h, 3h, 5h e 7h. Pelas imagens termográficas foram medidas as temperaturas máxima, mínima e média dos flancos esquerdo e direito, a temperatura do ponto esquerdo e direito e a temperatura da gaiola. O ponto foi escolhido manualmente, de acordo com o local que se apresentava mais quente na imagem termográfica. Para cada horário foi calculada a diferença de temperatura entre os flancos esquerdo e direito (esquerdo menos direito). O equipamento utilizado para registro e aferições foi a câmera infravermelha FLIR® system series-i, calibrada com o coeficiente de emissividade igual a 0,97. As imagens foram interpretadas pelo software QuickReport.

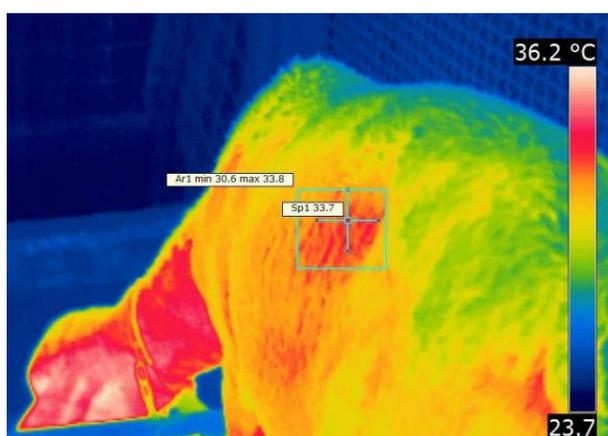


Figura 2.1 – Imagem termográfica do flanco esquerdo.

As informações de identificação, número da câmara, tipo de tratamento e dias de observação encontram-se na Tabela 2.1. Dados gerais do estudo como volume de ar

colhido, tempo de coleta, temperatura interna da gaiola, concentração de metano dentro e fora da gaiola estão na Tabela A.1. Os animais foram distribuídos nas câmaras e nos dias de tratamento aleatoriamente.

Tabela 2.1 – Identificação dos animais, tipo de tratamento e dias de observação

Animal	Câmara	Alimento	Dias observados
1135	1	tanino	20/09 e 21/09
1126	1	tanino	22/09 e 23/09
1129	3	tanino	20/09 e 21/09
1142	3	tanino	22/09 e 23/09
1148	5	tanino	20/09 e 21/09
1132	5	tanino	22/09 e 23/09
1105	2	feno	20/09 e 21/09
1149	2	feno	22/09 e 23/09
1117	4	feno	20/09 e 21/09
1114	4	feno	22/09 e 23/09
1134	6	feno	20/09 e 21/09
1123	6	feno	22/09 e 23/09

Os dados foram submetidos à análise estatística pelo pacote estatístico SAS[®] 9.2 (SAS Institute, Cary North Carolina, USA), testando coeficiente de correlação de Pearson, regressão múltipla e análise de componentes principais. A única análise que considerou apenas as diferenças de temperatura média, mínima, máxima e do ponto dos flancos esquerdo menos direito foi o coeficiente de correlação de Pearson. O nível mínimo de significância para que a variável permanecesse dentro do padrão foi de 0,05. Todas as demais foram realizadas não apenas para as diferenças de temperaturas, mas também para as temperaturas média, mínima e máxima do flanco esquerdo e do flanco direito. No intuito de verificar se havia regressão quadrática significativa, os valores das diferenças de temperaturas foram elevados ao quadro.

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os resultados das análises de correlação de Pearson, regressão múltipla e análise de componentes principais foram selecionados os horários com mais resultados significativos. Os valores de correlação e as equações de regressão considerados significativos foram os que obtiveram valor de p menor que 0,05. Os tempos para discussão das análises de componentes principais foram determinados a partir dos valores encontrados no teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). Com os valores de diferença de temperaturas do lado esquerdo para o direito e de temperaturas média, mínima, máxima e do ponto do lado esquerdo e do lado direito, foram obtidos os valores de KMO elencados na Tabela A.16.

A partir das análises de correlação foram verificados alguns resultados significativos para consumo de matéria seca (CMS), produção de metano (CH₄), produção de metano pelo consumo de matéria seca (CH₄/MS), produção de metano pelo peso metabólico (CH₄/PM) e as diferenças das temperaturas máxima, mínima, média e do ponto dos flancos esquerdo e direito nos tempos -1h, -0,5h, 0h, 0,5h, 1h, 2h, 3h, 5h e 7h em relação à alimentação (Tabela 2.2). De acordo com os resultados encontrados, em todos os tempos de mensuração da temperatura, o consumo de matéria seca apresentou correlação positiva significativa (0,49) com a produção de metano e ausência de correlação significativa com as demais variáveis analisadas.

A produção de metano também apresentou correlação positiva significativa com as demais variáveis analisadas pela câmara respirométrica, ou seja, produção de metano pelo consumo de matéria seca (0,60) e produção de metano pelo peso metabólico (0,91), independentes do horário de coleta das temperaturas. Essa maior correlação observada pode ser explicada pela correção do valor de produção de metano que ocorre quando se divide o valor total pelos valores de consumo de matéria de seca ou de peso metabólico. Os números corrigidos possuem maior precisão, gerando um nivelamento dos animais e, consequentemente, uma correlação mais significativa.

Tabela 2.2. Correlação entre consumo de matéria seca, produção de metano, produção de metano pelo consumo de matéria seca e produção de metano pelo peso metabólico

Item	CMS	CH ₄	CH ₄ /MS	CH ₄ /PM
CMS	....		
CH ₄	0,49*	....	
CH ₄ /MS	-0,33	0,60*	....
CH ₄ /PM	0,19	0,91*	0,82*	....

*P < 0,05; CMS = consumo de matéria seca; CH₄ = produção de metano; CH₄/MS = produção de metano pelo consumo de matéria seca; CH₄/PM = produção de metano pelo peso metabólico.

A produção de metano pelo peso metabólico ainda apresentou correlação positiva significativa com a produção de metano pelo consumo de matéria seca (0,82). Foi verificado que os valores de correlação, que envolviam as variáveis de consumo de matéria seca, produção de metano, produção de metano pelo consumo de matéria seca e produção de metano pelo peso metabólico foram iguais nos diferentes horários, pois o alimento foi fornecido uma vez ao dia e as concentrações de metano mensuradas em um período de 24 horas, não havendo efeito de tempo.

Como demonstrado por Armstrong & Blaxter (1957), mesmo em jejum, devido à existência de microrganismos ruminais, pode-se observar a produção de alguma quantidade de metano. Nos horários anteriores ao fornecimento de alimento, a existência de correlação positiva significativa entre consumo de matéria seca e produção de metano deve-se ao fato de na ausência de alimentação haver também ausência de produção de metano em quantidades consideráveis. Em estudo posterior, foram contabilizados 1,6 litros/24 horas de metano produzido no quarto dia de jejum, valor bem inferior aos 20 a 35 litros contabilizados antes do início desse período, com o animal alimentado (Blaxter, 1962). No entanto, por ser tratar de um produto da fermentação do alimento por microrganismos, a maior influência sobre a produção do metano é proveniente de inúmeros fatores intrínsecos à alimentação e digestão, como o nível de consumo alimentar (Kumar et al., 2014). Li et al. (2009), coletaram amostras de fluido ruminal de bovinos em horários prévio e posteriores à alimentação, verificando que esta exerce influência nos valores de pH e da concentração de ácidos graxos voláteis (AGV) e, conseqüentemente, na fermentação ruminal.

A correlação positiva entre a produção de metano pelo consumo de matéria seca e a produção de metano pelo peso metabólico observada era um resultado esperado já que o peso metabólico influencia o consumo de matéria seca. A quantidade de alimento consumida voluntariamente relaciona-se com as características do alimento, do animal e das

condições de alimentação (Tolkamp et al., 2007). O peso vivo do animal interfere diretamente no requerimento e no consumo alimentar (Alves et al., 2003). O nível de consumo alimentar relaciona-se com o peso metabólico do animal, pois o requerimento energético está em função do mesmo (Pereira et al., 2003).

Os principais AGV resultantes da fermentação ruminal são acetato, propionato e butirato (Janssen, 2010) e suas produções interferem na produção de metano (Moraes et al., 2014), sendo o ácido acético o maior responsável pela produção de calor durante a alimentação dos ruminantes (Armstrong & Blaxter, 1957). A relação entre o tipo de ácido graxo proveniente da fermentação bacteriana e a produção de CH₄ baseia-se na quantidade de hidrogênio (H₂) que cada um forma durante o processo fermentativo. O acetato é o que produz mais metano, pois fornece quatro moléculas de H₂, enquanto o butirato e o propiônico fornecem duas e uma moléculas respectivamente (Resende et al., 2006). Dessa forma, o ácido que mais produz metano é também o maior responsável pela elevação da temperatura intra ruminal no momento da digestão. Isso evidencia a grande relação entre produção de calor e produção de metano.

Nos tempos -1h e -0,5h (Tabelas A.2 e A.4), há uma ausência de correlação significativa entre consumo de matéria seca e as temperaturas termográficas, que pode ser explicada pela ausência de fermentação do alimento e consequente produção calórica. Processos como digestão, absorção e fermentação levam a uma perda da energia metabolizada do animal na forma de calor (Resende et al., 2006). Esse calor gerado é conhecido como incremento calórico e é consequente à alimentação (Armstrong & Blaxter, 1957). Blaxter (1962), após observações dos efeitos do jejum em 37 ovelhas, tanto a curto como a longo prazo, foi verificado que a ausência de alimentação leva a quedas progressivas na produção de calor em ovelhas. Na alimentação, o calor produzido por unidade de energia metabolizada consumida aumenta de forma exponencial à medida que a ingestão aumenta (MacRAE & Lobley, 1982). Nos horários 0,5h, 1h, 2h, 5h e 7h (Tabelas A.7, A.9, A.11, A.14 e A.16), também ocorre ausência de correlação significativa entre as mensurações da câmara respirométrica e temperaturas da câmara termográfica.

Na análise de correlação, o único horário que apresentou resultados significativos para o consumo de matéria seca foi o da hora zero (Tabela 2.3), no momento em que foi fornecida a alimentação. Verifica-se uma correlação negativa significativa entre o consumo de matéria seca e a diferença das temperaturas do ponto ($DifP = -0,52$ e $DifP^2 = -0,50$).

Tabela 2.3 – Correlação entre consumo de matéria seca, produção de metano e medidas termográficas na hora da alimentação (0h)

Item	CMS	CH ₄	CH ₄ /MS	CH ₄ /PM
DifP	-0,52*	-0,22	0,09	-0,05
DifMIN	-0,01	0,30	-0,05	0,29
DifMAX	-0,41	-0,24	-0,20	-0,08
DifMED	-0,38	-0,15	0,08	-0,02
DifP ²	-0,50*	-0,19	0,19	-0,03
DifMIN ²	-0,06	0,16	-0,05	0,19
DifMAX ²	-0,32	-0,23	-0,31	-0,09
DifMED ²	-0,38	-0,12	0,08	0,01

*P < 0,05; CMS = consumo de matéria seca; CH₄ = produção de metano; CH₄/MS = produção de metano pelo consumo de matéria seca; CH₄/PM = produção de metano pelo peso metabólico; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Os resultados das análises de correlação das diferenças de temperatura em todos os horários, exceto 3h após alimentação (Tabelas A.3, A.5, A.6, A.8, A.10, A.12, A.13, A.15 e A.17) apresentaram, em sua grande maioria, correlação positiva significativa, sugerindo que qualquer uma delas é representativa para as demais. Este fato, quando observado anterior à alimentação, pode ser explicado que por haver ausência de digestão e fermentação ruminal, tanto as temperaturas do lado esquerdo como do lado direito refletem a temperatura central do animal. Já após o fornecimento do alimento, os horários muito próximos à ingestão assim como os mais distantes demonstram que, apesar de haver diferenças de temperaturas entre os lados esquerdo e direito, estas podem não ser suficientes para determinar parâmetros fisiológicos.

Na hora três após o fornecimento do alimento foram encontrados resultados significativos para a análise de correlação das diferenças de temperatura, análise de regressão e análise de componentes principais. Este horário foi o único que apresentou correlação significativa entre a produção de metano e as diferenças de temperaturas, com correlações negativas significativas (Tabela 2.4). Os valores encontrados para a produção de metano demonstraram uma correlação negativa e significativa com as diferenças de temperaturas do ponto (-0,47) e das máximas temperaturas (DifMAX = -0,52 e DifMAX² = -0,43) três horas após a alimentação. Já, a correlação da produção de metano pelo consumo de matéria seca

com as diferenças das temperaturas médias foram positivas (DifMED = 0,55 e DifMED² = 0.60).

Tabela 2.4 – Correlação entre consumo de matéria seca, produção de metano, produção de metano pelo consumo de matéria seca e produção de metano pelo peso metabólico e as diferenças de temperatura três horas após alimentação (3h)

Item	CMS	CH4	CH4/MS	CH4/PM
DifP	-0,29	-0,47*	-0,28	-0,39
DifMIN	0,08	0,25	0,28	0,22
DifMAX	-0,28	-0,52*	-0,34	-0,41
DifMED	-0,35	-0,12	0,55*	0,04
DifP ²	-0,16	-0,35	-0,31	-0,32
DifMIN ²	0,11	0,30	0,32	0,29
DifMAX ²	-0,18	-0,43*	-0,38	-0,38
DifMED ²	-0,18	0,09	0,60*	0,18

*P < 0,05; CMS = consumo de matéria seca; CH₄ = produção de metano; CH₄/MS = produção de metano pelo consumo de matéria seca; CH₄/PM = produção de metano pelo peso metabólico; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

As variáveis de diferença de temperatura máxima e diferença de temperatura do ponto, que se apresentaram correlação negativa significativa, representam extremos entre os flancos esquerdo menos direito. A temperatura máxima representava, naquela região, o ponto registrado pelo equipamento de maior temperatura e a temperatura do ponto foi selecionada manualmente, após observação do local da imagem termográfica que se apresentava mais quente. Apesar de uma correlação negativa não ser a esperada entre a produção de metano e as diferenças de temperatura, o valor encontrado pode ter sido ocasionado por alguma interferência externa. Além do fato da temperatura máxima representar o extremo calórico da região e da temperatura do ponto ter sido escolhida aleatoriamente, tornando impossível repetir o mesmo padrão em animais diferentes.

Considerando esses fatores, a ocorrência de correlações negativas para as diferenças de temperaturas do ponto e das temperaturas máximas também pode ser explicada por uma possível influência externa, como incidência solar, não retratando fisiologicamente o que ocorria no organismo do animal. Joyce & Blaxter (1964), em estudo sobre o efeito da radiação infravermelha sobre os requerimentos energéticos das ovelhas, observaram que a incidência de radiação começa a gerar uma produção mínima de calor a partir de 60 a 80

minutos após exposição e demora cerca de 50 minutos para que a temperatura da pele retorne aos valores iniciais após cessar o aquecimento. Já a diferença das temperaturas médias demonstra com maior fidelidade as diferenças de temperaturas geradas pela fermentação em comparação à temperatura central do corpo, pois considera toda a região do flanco.

A correlação positiva entre produção de metano pelo consumo de matéria seca e a diferença de temperaturas médias indica que quanto maior a diferença média das temperaturas do flanco esquerdo em relação ao direito, maior a produção de metano pelo consumo de matéria seca. A variável produção de metano pelo consumo de matéria seca considera a correção do quanto foi produzido de metano pela quantidade de alimento consumido, sendo mais precisa. Também evidencia uma relação direta, pois um dos principais fatores que influenciam a produção de metano é o consumo alimentar (Herd et al., 2014). Pelchen & Peters (1998), pesquisando a produção de metano em ovinos, observaram que quanto maiores o consumo e o peso vivo, maiores as produções de metano. Além disso, a temperatura média é uma variável mais consistente quando comparada às demais diferenças de temperatura, pois elimina os erros dos extremos calóricos e da escolha aleatória, refletindo a temperatura da região como um todo.

Tabela 2.5 – Regressões para as variáveis: consumo de matéria seca e produção de metano em relação às temperaturas média, mínima, máxima e do ponto dos lados esquerdo e direito, para ovinos, no momento da alimentação e três horas após o fornecimento do alimento

	Tempo após alimentação	Regressão	R ²
CMS	-1 h	$CMS = -8,2408 + 0,6888*PD - 0,0016*MinE^2 - 0,0116*PD^2$	0,4549
	-0,5 h	$CMS = 1,462 - 0,0009*MinE^2$	0,2646
CH4	3 h	$CMS = 0,7344 + 0,0087*PD^2 - 0,0085*MaxD$	0,373
	3 h	$CH4 = 26,5668 - 1,5756*MedD + 0,0392*MinD^2$	0,335

CMS = Consumo de Matéria seca; CH4 = Produção de Metano; PD = temperatura do ponto do flanco direito; PD² = temperatura do ponto do flanco direito ao quadrado; MinE² = temperatura mínima ao quadrado do flanco esquerdo; MaxD = temperatura máxima do flanco direito; MedD = temperatura média do flanco direito; MinD² = temperatura mínima ao quadrado do flanco direito.

A análise de regressão na hora três apresentou equações significativas tanto nas diferenças de temperatura como nas temperaturas individuais. Nas temperaturas individuais, tanto os valores de consumo de matéria seca como da produção de metano puderam ser obtidos pelas equações de regressão (Tabela 2.5). Nas diferenças de temperaturas, a produção de metano pelo consumo de matéria seca pode ser predita considerando a diferença do ponto ao quadrado e a diferença da média ao quadrado (Tabela 2.6).

Durante a fermentação ativa, a temperatura ruminal atinge valores superiores ao da temperatura corporal. A energia dissipada como calor durante a fermentação é semelhante ao déficit energético dos produtos da fermentação (Marston, 1948). Os requerimentos para manutenção do animal representam uma considerável perda energética, manifestada na forma de produção de calor, refletida como uma variação na temperatura da superfície corporal (Montanholi et al., 2009). Forbes (1980) descreveu que, após alguns minutos desde o primeiro contato com o alimento, os constituintes solúveis ali presentes começam a ser fermentados, aumentando lentamente a concentração de AGV. Além disso, o início de atividade muscular ruminal faz com que AGV de remanescentes de refeições anteriores entrem em contato com a parede do rúmen, iniciando o aumento da temperatura ruminal logo que a fermentação começa.

A análise de regressão da produção de metano pelo consumo de matéria seca, considerando as diferenças de temperatura, três horas após a alimentação (Tabela 2.6), possui como variáveis o quadrado da diferença das temperaturas dos pontos e o quadrado da diferença das temperaturas médias. Assim como observado na análise de correlação, a relação com o quadrado da diferença do ponto é inversa, enquanto a relação com o quadrado da diferença média é direta. Adicionalmente, qualquer variação na diferença de temperatura média influencia aproximadamente três vezes mais a quantidade de metano por consumo de matéria seca produzida, quando comparada com o mesmo aumento na diferença da temperatura do ponto.

Tabela 2.6 – Regressões para as variáveis: consumo de matéria seca, produção de metano, produção de metano pelo consumo de matéria seca, produção de metano pelo peso metabólico em relação às diferenças de temperaturas dos lados esquerdo e direito, para ovinos, no momento da alimentação, uma, três e sete horas após o fornecimento do alimento

	Tempo após alimentação	Regressão	R ²
CH4/MS	3 h	$CH4/MS = 13,9016 - 0,38673 * DifP^2 + 3,39089 * DifMED^2$	0,4893
	7 h	$CH4/MS = 16,44267 + 5,13336 * DifMIN - 4,99371 * DifMED^2$	0,377
CH4	1 h	$CH4 = 13,6365 + 2,2361 * DifMIN - 2,405 * DifMED$	0,413
CH4/PM	1 h	$CH4/PM = 1,0071 + 0,1339 * DifMIN - 0,1395 * DifMED$	0,2838

CH4 = Produção de Metano; CH4/MS = Produção de metano pelo consumo de matéria seca; CH4/PM = Produção de metano pelo peso metabólico; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Diante dessas evidências é possível dizer que existe uma forte correlação entre produção de metano pelo consumo de matéria seca e o quadrado das diferenças médias do flanco esquerdo menos o flanco direito. Apesar de não ter sido muito elevado, o maior valor de R^2 encontrado foi para a produção de metano pelo consumo de matéria seca, três horas após a alimentação (0,4893). Este fato deve-se à forma como foi possível realizar o experimento e a coleta de dados. Certamente se as mensurações da produção de metano tivessem sido realizadas a cada registro termográfico, os valores de R^2 encontrados teriam sido maiores.

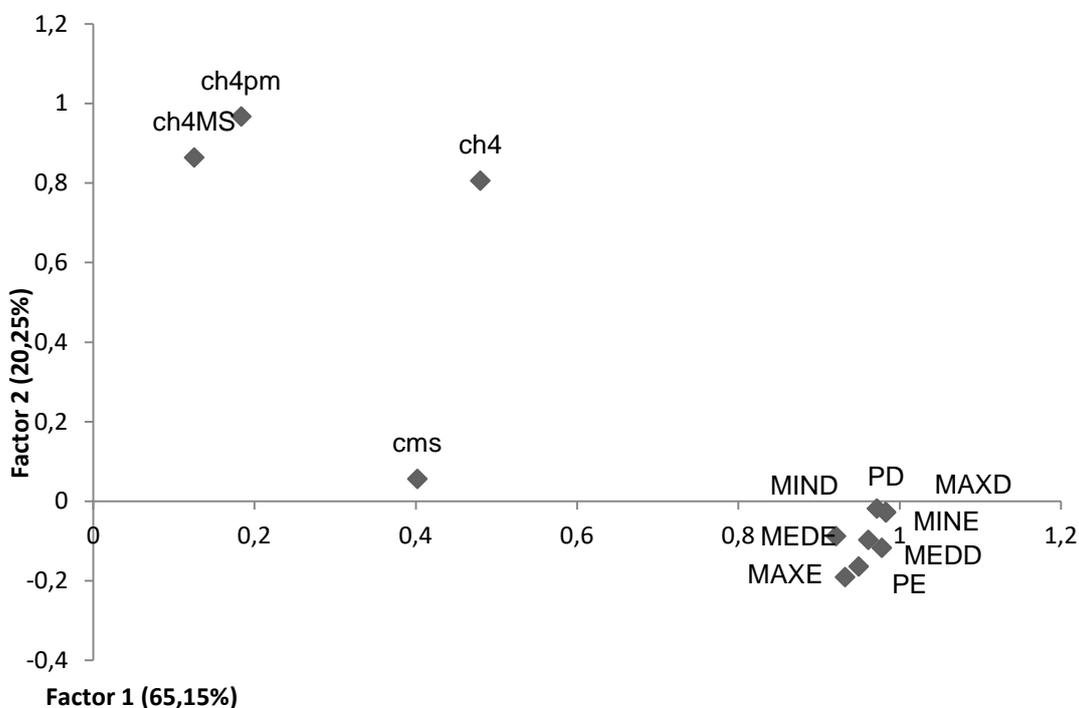


Figura 2.2 - Fatores 1 e 2 em relação às temperaturas média, mínima, máxima e do ponto dos lados esquerdo e direito na hora 3.

CMS = Consumo de Matéria seca; ch4 = Produção de Metano; ch4MS = Produção de metano pelo consumo de matéria seca; ch4/PM = Produção de metano pelo peso metabólico; PD = temperaturas no ponto direito; PE = temperaturas no ponto esquerdo; MIND = temperatura mínimas no flanco direito; MINE = temperatura mínimas no flanco esquerdo; MAXD = temperatura máximas no flancos direito; MAXE = temperatura máximas no flancos esquerdo; MEDD = temperatura média do flanco direito; MEDE = temperatura média do flanco esquerdo.

A análise de componentes principais do tempo 3h após a alimentação (Figura 2.2), considerando as temperaturas individuais, demonstra uma alta correlação entre dois grupos de variáveis. Nesse horário, 86% da variação observada pode ser explicada pelas variáveis estudadas, apresentando também o maior valor de KMO (0,74). Foi observada uma relação direta entre as variáveis produção de metano, produção de metano pelo consumo de matéria seca e produção de metano pelo peso metabólico. Da mesma forma, pode ser notada relação direta entre as temperaturas mínima, máxima, média e do ponto dos lados direito e esquerdo.

Na Figura 2.3, em relação à diferença de temperaturas dos flancos esquerdo e direito, assim como encontrado na correlação, na análise de componentes principais também pode ser observada uma relação direta entre diferença média de temperatura e a produção de metano pelo consumo de matéria seca na hora três.

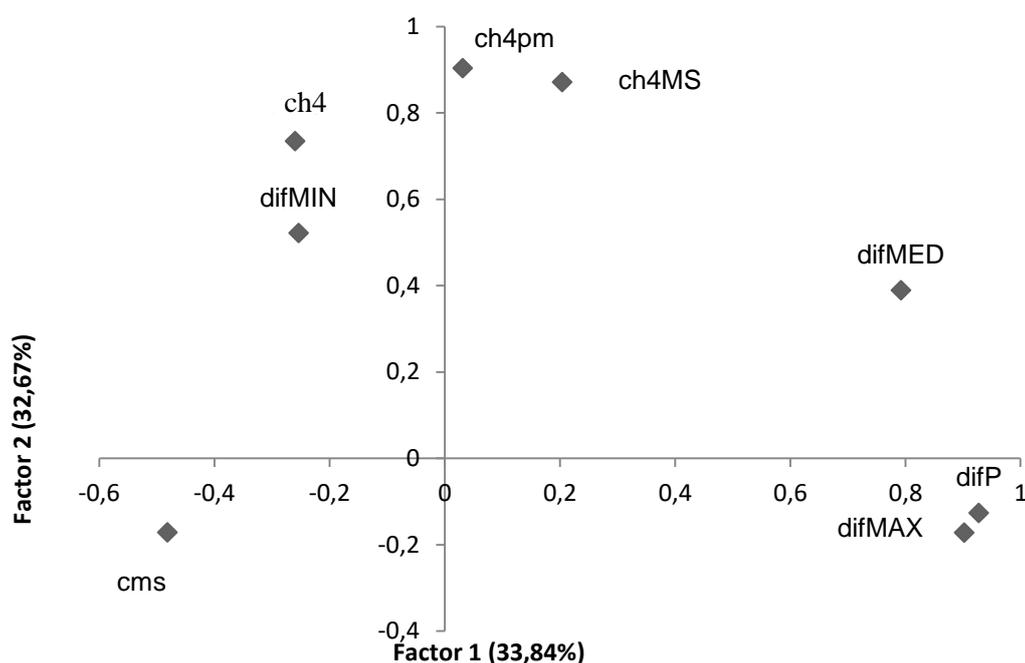


Figura 2.3 - Fatores 1 e 2 em relação às diferenças de temperatura dos lados esquerdo e direito na hora 3.

cms = consumo de matéria seca; ch4 = produção de metano; ch4/MS = produção de metano pelo consumo de matéria seca; ch4/PM = produção de metano pelo peso metabólico; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito

Apesar de não haver correlação significativa na hora sete, foi observada regressão significativa para a produção de metano pelo consumo de matéria seca (Tabela 2.6), podendo-se prever seu valor com informações da diferença entre as temperaturas mínimas e quadrado da diferença das médias. As influências exercidas por estas variáveis foram direta e inversa, respectivamente. Na análise de componentes principais, 74% da variação encontrada pode ser explicada pelas variáveis estudadas (Figura 2.4). Foi observada uma relação direta entre as variáveis de produção de metano e as de diferença de temperatura dos flancos esquerdo e direito.

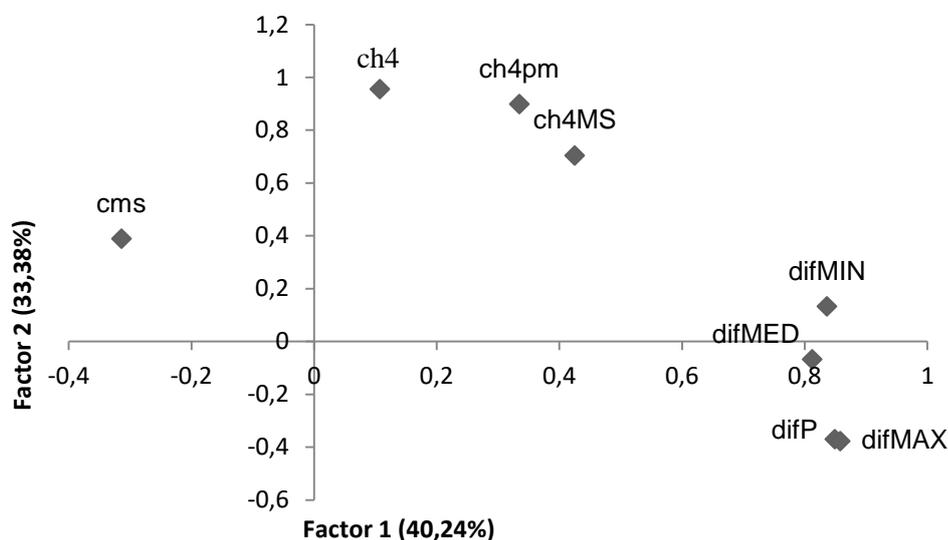


Figura 2.4 - Fatores 1 e 2 em relação às diferenças de temperatura dos lados esquerdo e direito na hora 7.

CMS = consumo de matéria seca; CH₄ = produção de metano; CH₄/MS = produção de metano pelo consumo de matéria seca; CH₄/PM = produção de metano pelo peso metabólico; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito

Em uma visão geral, observamos que na hora zero a análise de correlação evidenciou valores significativos para o consumo de matéria seca. As regressões para a mesma variável foram encontradas nas horas -1h, -0,5h e 3h, em relação à alimentação. Três horas após a alimentação, a produção de metano se correlacionou negativamente com a diferença das temperaturas máximas e seu quadrado e com a diferença das temperaturas do

ponto. Na Figura 2.3 também pode ser observada relação inversa entre essas variáveis. No mesmo horário, a produção de metano pelo consumo de matéria seca se correlacionou positivamente com a diferença das temperaturas médias, apresentou equação que possibilita sua predição na análise de regressão múltipla e na figura 2.3 foi observada uma relação direta entre as variáveis. A produção de metano, que apresentou modelo de regressão em relação às temperaturas, localiza-se no quadrante positivo na análise de componentes principais (Figura 2.2).

Nos dados obtidos sete horas após a alimentação, houve regressão significativa para a produção de metano pelo consumo de matéria seca em relação às diferenças de temperatura. Apesar dessas variáveis não possuírem valores significativos na correlação de Pearson, no gráfico de componentes principais (Figura 2.4) observa-se relação direta entre as variáveis. Isto pode ser explicado pela digestão da porção insolúvel do alimento. Após o primeiro pico dos processos digestivos e da fermentação ruminal, provenientes da absorção dos produtos obtidos da porção solúvel do alimento, ocorre um segundo pico mais prolongado de absorção, proveniente da fermentação e digestão dos compostos insolúveis da refeição. Durante os períodos entre as refeições, quando se inicia um declínio progressivo do conteúdo ruminal, ocorre também um declínio da produção de calor no rúmen (Forbes 1980).

Considerando as análises realizadas no presente estudo, o tempo de três horas após a alimentação é o indicado para predizer a produção de metano pelo consumo de matéria seca com o uso do termógrafo em ovinos. Montanholi et al. (2008), pesquisando a aplicação da termografia infravermelha para predizer a produção de metano em vacas leiteiras, observaram que as diferenças de temperatura entre os flancos esquerdo e direito, de uma a duas horas após a alimentação, refletia o incremento calórico da alimentação, sendo o período de até 100 minutos após a refeição o com melhores correlações para predição da produção de metano. A diferença de horários para predição de metano entre o estudo prévio e o descrito aqui pode ser justificada pela diferença metabólica entre bovinos e ovinos, os quais possuem um metabolismo mais lento, quando comparado a demais espécies animais (Blaxter 1962).

CONCLUSÃO

A termografia infravermelha pode ser utilizada como indicador da produção de metano em ovinos, sendo possível prever o quanto de metano pelo consumo de matéria seca está sendo produzido a partir de informações termográficas registradas na terceira hora após a alimentação.

4.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, A.L.; LOUVANDINI, H.; SALLAM, S.M.A.H.; BUENO, I.C.S.; TSAI, S.M.; FIGUEIRA, A.V.O. In vitro evaluation, in vivo quantification, and microbial diversity studies of nutritional strategies for reducing enteric methane production. **Trop. Anim. Health Prod.**, v. 44, p. 953–964, 2012.

ALVES, K.S.; CARVALHO, F.F.R.; VÉRAS, A.S.C.; ANDRADE, M.F.; COSTA, R.G.; BATISTA, A.M.V.; MEDEIROS, A.N.; MAIOR JUNIOR, R.J.S.; ANDRADE, D.K.B. Níveis de energia em dietas para ovinos Santa Inês: desempenho. **R. Bras. Zootec.**, v. 32, n. 6, p.1937-1944, 2003.

ARMSTRONG, D.G.; BLAXTER, K.L. The heat increment of steam-volatile fatty acids in fasting sheep. **The British Journal of Nutrition**, v. 11, n. 3, p. 247-272, 1957.

ARTHUR, J.P.F.; HERD, R.M. Residual feed intake in beef cattle. **R. Bras. Zootec.**, v.37, suplemento especial p.269-279, 2008.

BASSO, L.S.; GATTI, L.V.; GLOOR, M.; MILLER, J.B.; DOMINGUES, L.G.; CORREIA, C.S.C.; BORGES, V. F. Seasonality and interannual variability of CH₄ fluxes from the eastern Amazon Basin inferred from atmospheric mole fraction profiles. **J. Geophys. Res. Atmos.**, v. 121, p.168–184, 2016.

BLAXTER, K.L. The fasting metabolism of adult wether sheep. **British Journal of Nutrition**, v.16, n. 1, p. 615-626, 1962.

ELLIS, J.L.; BANNINK, A.; FRANCE, J.; KEBREAB, E.; DIJKSTRA, J. Evaluation of enteric methane prediction equations for dairy cows used in whole farm models. **Global Change Biology**, v. 16, p. 3246–3256, 2010.

FORBES, J.M. Physiological aspects of the regulation of food intake. **Ann. Zootech.**, v. 29, p. 189-196, 1980.

FURLAN, R.L.; MACARI, M.; FILHO, D.E.F. Anatomia e fisiologia do trato gastrintestinal. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. 1ed. Editora FUNEP, 2006, p. 1-23

HERD, R.M.; ARTHUR, P.F.; DONOGHUE, K.A.; BIRD, S.H.; BIRD-GARDINER, T.; HEGARTY, R.S. Measures of methane production and their phenotypic relationships with

dry matter intake, growth, and body composition traits in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.92, p.5267–5274, 2014.

HILL, J.; MCSWEENEY, C.; WRIGHT, A.G.; BISHOP-HURLEY, G.; KALANTAR-ZADEH, K. Measuring methane production from ruminants. **Trends in Biotechnology**, v. 34, n.1, p. 26-35, 2016.

HOOK, S.; WRIGHT, A.G.; MCBRIDE, B.W. Review article - Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies. **Hindawi Publishing Corporation**, v. 2010, p. 1-11, 2010.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change [2014]. Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf > Acesso: 18/11/2016.

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.

JOYCE, J.P.; BLAXTER, K.L. The effect of air movement, air temperature and infrared radiation on the energy requirements of sheep. **Brit. J.Nutr.** , v. 18, p. 5-27, 1964.

KUMAR, S.; CHOUDHURY, P.K.; CARRO, M.D.; GRIFFITH, G.W.; DAGAR, S.S.; PUNIYA, M.; CALABRO, S.; RAVELLA, S.R.; DHEWA, T.; UPADHYAY, R.C.; SIROHI, S.K.; KUNDU, S.S.; WANAPAT, M.; PUNIYA, A.K. New aspects and strategies for methane mitigation from ruminants. **Appl Microbiol Biotechnol.**, v. 98, p. 31–44, 2014.

LI, M.; PENNER, G.B.; HERNANDEZ-SANABRIA, E.; OBA, M.; GUAN, L.L. Effects of sampling location and time, and host animal on assessment of bacterial diversity and fermentation parameters in the bovine rumen. **Journal of Applied Microbiology**, v.107, p. 1924–1934, 2009

MACRAE, J.C.; LOBLEY, G.E. Some factors which influence thermal energy losses during the metabolism of ruminants. **Livestock Production Science**, v. 9, p. 447-456, 1982.

MADSEN, J.; BJERG, B.S.; HVELPLUND, T.; WEISBJERG, M.R.; LUND, P. Methane and carbon dioxide ratio in excreted air for quantification of the methane production from ruminants. **Livestock Science**, v.129, n. 1-3, p. 223-227, 2010.

MARSTON, H.R. The Fermentation of Cellulose in vitro by Organisms from the Rumen of Sheep, **The Biochemical Journal** , v. 42, n. 4, p. 564-574, 1948.

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

MOE, P. W.; TYRRELL, H. F. Methane production in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 62 , n. 10 , p. 1583 – 1586, 1979

MONTANHOLI, Y.R.; ODONGO, N.E.; SWANSON, K.C.; SCHENKEL, F.S.; MCBRIDE, B.W.; MILLER, S. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, p. 468–475, 2008.

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

MORAES, L.E.; STRATHE, A.B.; FADEL, J.G.; CASPER, D.P.; KEBREAB, E. Prediction of enteric methane emissions from cattle. **Global Change Biology**, v. 20, p. 2140–2148, 2014.

MOURA, A.M.; GONÇALVES, L.C.; FERREIRA, P.D.S.; CÔRTEZ, I.H.G.; CRUZ, D.S.G.; MELGAÇO, F.P.; OLIVEIRA, J.P.C.A.; DINIZ, T.H.F. Métodos para medir a emissão individual de metano por ruminantes. **Nutritime Revista Eletrônica**, v.12, n.6, p.4435-4440, 2015.

PELCHEN, A.; PETERS, K.J. Methane emissions from sheep. *Small Ruminant Research*, v. 27, n. 2, p.137-15, 1998.

PEREIRA, E.S.; ARRUDA, A.M.V.; MIZUBUTI, I.Y.; SILVA, L.D.F. Consumo Voluntário em Ruminantes. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 24, n. 1, p. 191-196, 2003.

PINARES-PLATIÑO, C.S.; LASSEY, K.R.; MARTIN, R.J.; MOLANO, G.; FERNANDEZ, M.; MACLEAN, S.; SANDOVAL, E.; LUO, D.; CLARK, H. Assessment of the sulfur hexafluoride (SF₆) tracer technique using respiration chambers for estimation of methane emissions. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166-167, p. 201-209, 2011.

PRATHER, M.; HOLMES, C.D.; HSU, J. Reactive greenhouse gas scenarios - Systematic exploration of uncertainties and the role of atmospheric chemistry. **Geophysical Research Letters**, v. 39, 2012. Resende 2006

RESENDE, K.T.; TEIXEIRA, I.A.M.A.; FERNANDES, M.H.M.R. Metabolismo de energia. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. 1ed. Editora FUNEP, p. 311-332, 2006.

RITCHER, R.K.; MING, T.; CAILLOLA, S.; LIU, W. Fighting global warming by GHG removal: destroying CFCs and HCFCs in solar-wind power plant hybrids producing renewable energy with no-intermittency. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 49, p. 449–472, 2016.

ROBERTO, J.V.B.; SOUZA, B.B.; FURTADO, D.A.; DELFINO, L.J.B.; MARQUES, B.A.A. Thermal gradients and physiological responses of goats in the Brazilian semi-arid using thermography infrared. **J. Anim. Behav. Biometeorol.**, v. 2, n. 1, p.11-19, 2014.

SEJIAN, V.; LAL, R.; LAKRITZ, J.; EZEJI, T. Measurement and prediction of enteric methane emission. **Int. J. Biometeorol.**, v. 55, p. 1-16, 2010.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCAR, B.; OGLE, S.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLLES, B.; SIROTENKO, O.; HOWDEN, M.; MCALLISTER, T.; PAN, G.; ROMANENKOV, V.; SCHNEIDER, U.; TOWPRAYOON, S.; WATTENBACH, M.; SMITH, J. Greenhouse gas mitigation in agriculture. **Phil. Trans. R. Soc.**, v. 363, p. 789–813, 2008.

STEUER, P.; SÜDEKUM, K.; MÜLLER, D.W.H.; KAANDORP, J.; CLAUSS, M.; HUMMEL, J. Fibre digestibility in large herbivores as related to digestion type and body mass — An in vitro approach. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 164, p. 319–326, 2013.

STEWART, M.; WEBSTERT, JR.; SCHAEFER, A.L.; COOK, N.J. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. **Animal Welfare**, v. 14, p. 319-325, 2005.

TOLKAMP, B.J.; YEARSLEY, J.M.; GORDON, I.J.; ILLIUS, A.W.; SPEAKMAN, J.R.; KYRIAZAKIS, I. Predicting the effects of body fatness on food intake and performance of sheep. **British Journal of Nutrition**, v., 97, p. 1206–1215, 2007.

WOOD, S.; LIN, Y.; KNOWLES, T.G.; MAIN, D.C.J. Infrared thermometry for lesion monitoring in cattle lameness. **Veterinary Record**, 2015.

ZHANG, R.; ZHU, W.; ZHU, W.; LIU, J.; MAO, S. Effect of dietary forage sources on rumen microbiota, rumen fermentation and biogenic amines in dairy cows. **J Sci Food Agric.**, v. 94, p. 1886–1895, 2014.

ANEXOS

Tabela A.1- Volume de metano coletado por animal

Câmara	Animal	Alimento	Dia	Volume colhido (m ³ /s)	Temperatura media interna (°C)	CH ₄ ppm		CH ₄ (L/d)	Volume colhido (L/min)
						exterior	interior		
1	1135	Tanino	20/09	0,0022	24,3	8,2	53,9	10,13	129,6
2	1105	Feno	20/09	0,0018	24,1	8,2	66,1	10,52	106,0
3	1129	Tanino	20/09	0,0022	21,2	8,2	12,1	0,87	129,6
4	1117	Feno	20/09	0,0027	24,6	8,2	104,7	27,23	164,9
5	1148	Tanino	20/09	0,0020	24,2	8,2	75,2	13,51	117,8
6	1134	Feno	20/09	0,0021	24,7	8,2	71,0	13,28	123,7
1	1135	Tanino	21/09	0,0021	20,8	9,8	68,7	12,63	123,7
2	1105	Feno	21/09	0,0019	20,4	9,8	59,9	9,74	111,9
3	1129	Tanino	21/09	0,0022	20,1	9,8	10,0	0,04	129,6
4	1117	Feno	21/09	0,0026	21,0	9,8	60,7	13,52	153,2
5	1148	Tanino	21/09	0,0021	20,6	9,8	64,4	11,73	123,7
6	1134	Feno	21/09	0,0021	20,6	9,8	46,9	7,96	123,7
1	1126	Tanino	22/09	0,0021	23,0	7,8	69,0	13,04	123,7
2	1149	Feno	22/09	0,0021	23,0	7,8	75,1	14,33	123,7
3	1142	Tanino	22/09	0,0022	23,4	7,8	45,3	8,35	129,6
4	1114	Feno	22/09	0,0027	23,4	7,8	89,0	22,20	159,0
5	1132	Tanino	22/09	0,0021	23,6	7,8	129,2	25,80	123,7
6	1123	Feno	22/09	0,0021	24,1	7,8	81,4	15,62	123,7
1	1126	Tanino	23/09	0,0022	21,7	7,9	74,9	15,00	129,6
2	1149	Feno	23/09	0,0020	25,1	7,9	55,8	9,65	117,8
3	1142	Tanino	23/09	0,0023	25,5	7,9	46,9	9,02	135,5
4	1114	Feno	23/09	0,0027	25,8	7,9	85,6	21,06	159,0
5	1132	Tanino	23/09	0,0021	25,7	7,9	63,9	11,81	123,7
6	1123	Feno	23/09	0,0021	26,4	7,9	61,1	11,20	123,7

Tabela A.2 – Correlação entre consumo de matéria seca, metano e medidas termográficas uma hora antes do fornecimento da alimentação (-1h)

Item	CMS	CH4	CH4/MS	CH4/PM
DifP	-0,01	-0,06	-0,19	0,13
DifMIN	0,05	0,18	-0,12	0,22
DifMAX	-0,09	-0,05	-0,10	0,11
DifMED	0,19	-0,01	-0,26	-0,05
DifP ²	-0,06	-0,04	-0,08	0,14
DifMIN ²	0,00	0,23	-0,16	0,30
DifMAX ²	-0,11	-0,06	-0,04	0,08
DifMED ²	0,26	0,02	-0,22	-0,06

*P < 0,05; CMS = consumo de matéria seca; CH₄ = produção de metano; CH₄/MS = produção de metano pelo consumo de matéria seca; CH₄/PM = produção de metano pelo peso metabólico; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.3 – Correlação entre as medidas termográficas uma hora antes do fornecimento da alimentação (-1h)

Item	DifP	DifMIN	DifMAX	DifMED	DifP ²	DifMIN ²	DifMAX ²	DifMED ²
DifP	....						
DifMIN	0,45*	....					
DifMAX	0,92*	0,31	....				
DifMED	0,71*	0,62*	0,66*	....			
DifP ²	0,90*	0,36	0,83*	0,62*	....		
DifMIN ²	0,43	0,94*	0,34	0,56*	0,32	....	
DifMAX ²	0,82*	0,21	0,93*	0,55*	0,90*	0,23	....
DifMED ²	0,60*	0,55*	0,53*	0,92*	0,52*	0,46*	0,40	....

*P < 0,05; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.4 – Correlação entre consumo de matéria seca, metano e medidas termográficas meia hora antes do fornecimento da alimentação (-0,5h)

Item	CMS	CH ₄	CH ₄ /MS	CH ₄ /PM
DifP	-0,21	-0,20	-0,13	-0,06
DifMIN	-0,08	0,03	0,09	0,05
DifMAX	-0,25	-0,22	-0,13	-0,08
DifMED	0,08	-0,05	-0,22	-0,11
DifP ²	-0,28	-0,26	-0,09	-0,10
DifMIN ²	-0,20	-0,03	0,14	0,01
DifMAX ²	-0,30	-0,29	-0,12	-0,13
DifMED ²	0,17	-0,10	-0,28	-0,19

*P < 0,05; CMS = consumo de matéria seca; CH₄ = produção de metano; CH₄/MS = produção de metano pelo consumo de matéria seca; CH₄/PM = produção de metano pelo peso metabólico; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.5 – Correlação as medidas termográficas meia hora antes do fornecimento do da alimentação (-0,5h)

Item	DifP	DifMIN	DifMAX	DifMED	DifP ²	DifMIN ²	DifMAX ²	DifMED ²
DifP	....						
DifMIN	0,04	....					
DifMAX	0,99*	0,03	....				
DifMED	0,56*	0,56*	0,52*	....			
DifP ²	0,96*	0,02	0,96*	0,44*	....		
DifMIN ²	0,02	0,94*	0,02	0,50*	0,03	....	
DifMAX ²	0,92*	0,00	0,95*	0,37	0,98*	0,04	....
DifMED ²	0,56*	0,50*	0,51*	0,90*	0,43*	0,46*	0,35	....

*P < 0,05; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.6 – Correlação entre as medidas termográficas na hora do fornecimento da alimentação (0h)

Item	DifP	DifMIN	DifMAX	DifMED	DifP ²	DifMIN ²	DifMAX ²	DifMED ²
DifP	....						
DifMIN	0,32	....					
DifMAX	0,98*	0,31	....				
DifMED	0,71*	0,43*	0,59*	....			
DifP ²	0,91*	0,24	0,92*	0,66*	....		
DifMIN ²	0,25	0,92*	0,29	0,41	0,19	....	
DifMAX ²	0,92*	0,21	0,92*	0,58*	0,98*	0,23	....
DifMED ²	0,63*	0,38	0,43*	0,95*	0,68*	0,36	0,48*	....

*P < 0,05; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.7 – Correlação entre consumo de matéria seca, metano e medidas termográficas meia hora após o fornecimento da alimentação (0,5h)

Item	CMS	CH ₄	CH ₄ /MS	CH ₄ /PM
DifP	-0,22	-0,14	0,00	-0,03
DifMIN	0,08	0,19	-0,10	0,09
DifMAX	-0,20	-0,14	-0,02	-0,06
DifMED	-0,13	0,00	-0,02	-0,04
DifP ²	-0,10	-0,14	-0,07	-0,10
DifMIN ²	0,11	0,23	-0,13	0,16
DifMAX ²	-0,04	-0,13	-0,11	-0,12
DifMED ²	-0,12	-0,05	-0,06	-0,09

*P < 0,05; CMS = consumo de matéria seca; CH₄ = produção de metano; CH₄/MS = produção de metano pelo consumo de matéria seca; CH₄/PM = produção de metano pelo peso metabólico; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.8 – Correlação entre as medidas termográficas meia hora após o fornecimento da alimentação (0,5h)

Item	DifP	DifMIN	DifMAX	DifMED	DifP ²	DifMIN ²	DifMAX ²	DifMED ²
DifP	....						
DifMIN	-0,01	....					
DifMAX	0,99*	0,01	....				
DifMED	0,60*	0,62*	0,62*	....			
DifP ²	0,94*	0,06	0,93*	0,54*	....		
DifMIN ²	-0,07	0,95*	-0,08	0,52*	-0,01	....	
DifMAX ²	0,90*	0,08	0,91*	0,54*	0,99*	-0,01	....
DifMED ²	0,54*	0,57*	0,57*	0,94*	0,49*	0,46*	0,51*	....

*P < 0,05; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.9 – Correlação entre consumo de matéria seca, metano e medidas termográficas uma hora após o fornecimento da alimentação (1h)

Item	CMS	CH ₄	CH ₄ /MS	CH ₄ /PM
DifP	-0,16	-0,18	-0,02	-0,13
DifMIN	0,04	0,40	0,20	0,39
DifMAX	-0,21	-0,18	0,04	-0,12
DifMED	-0,19	-0,18	0,14	-0,16
DifP ²	-0,06	-0,10	-0,06	-0,09
DifMIN ²	-0,05	0,34	0,15	0,36
DifMAX ²	-0,10	-0,10	-0,02	-0,10
DifMED ²	-0,31	-0,13	0,17	-0,08

*P < 0,05; CMS = consumo de matéria seca; CH₄ = produção de metano; CH₄/MS = produção de metano pelo consumo de matéria seca; CH₄/PM = produção de metano pelo peso metabólico; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.10 – Correlação entre as medidas termográficas uma hora após o fornecimento da alimentação (1h)

Item	DifP	DifMIN	DifMAX	DifMED	DifP ²	DifMIN ²	DifMAX ²	DifMED ²
DifP	....						
DifMIN	0,14	....					
DifMAX	0,99*	0,17	....				
DifMED	0,68*	0,44*	0,73*	....			
DifP ²	0,92*	0,15	0,92*	0,59*	....		
DifMIN ²	0,12	0,96*	0,14	0,38	0,11	....	
DifMAX ²	0,91*	0,18	0,92*	0,62*	0,99*	0,13	....
DifMED ²	0,59*	0,42*	0,63*	0,93*	0,55*	0,39	0,58*	....

*P < 0,05; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.11 – Correlação entre consumo de matéria seca, metano e medidas termográficas duas horas após o fornecimento da alimentação (2h)

Item	CMS	CH ₄	CH ₄ /MS	CH ₄ /PM
DifP	-0,01	-0,13	-0,13	-0,10
DifMIN	-0,13	0,13	0,32	0,11
DifMAX	-0,02	-0,12	-0,12	-0,08
DifMED	-0,12	0,04	0,25	0,10
DifP ²	0,05	0,00	-0,03	0,00
DifMIN ²	-0,01	0,04	0,10	-0,04
DifMAX ²	0,06	0,00	-0,05	0,00
DifMED ²	0,05	-0,02	0,02	-0,01

*P < 0,05; CMS = consumo de matéria seca; CH₄ = produção de metano; CH₄/MS = produção de metano pelo consumo de matéria seca; CH₄/PM = produção de metano pelo peso metabólico; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.12 – Correlação entre as medidas termográficas duas horas após o fornecimento da alimentação (2h)

Item	DifP	DifMIN	DifMAX	DifMED	DifP2	DifMIN2	DifMAX2	DifMED2
DifP	....						
DifMIN	0,33	....					
DifMAX	0,99*	0,33	....				
DifMED	0,55*	0,66*	0,53*	....			
DifP2	0,93*	0,28	0,94*	0,49*	....		
DifMIN2	0,36	0,93*	0,35	0,61*	0,27	....	
DifMAX2	0,91*	0,25	0,93*	0,46*	0,99*	0,24	....
DifMED2	0,49*	0,59*	0,48*	0,92*	0,43*	0,59*	0,41*	....

*P < 0,05; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.13 – Correlação entre as medidas termográficas duas horas após o fornecimento da alimentação (3h)

Item	DifP	DifMIN	DifMAX	DifMED	DifP2	DifMIN2	DifMAX2	DifMED2
DifP	....						
DifMIN	-0,28	....					
DifMAX	0,95*	-0,33	....				
DifMED	0,59*	0,29	0,51*	....			
DifP2	0,93*	-0,48*	0,89*	0,39	....		
DifMIN2	-0,54*	0,91*	-0,57*	0,05	-0,73*	....	
DifMAX2	0,91*	-0,54*	0,94*	0,33	0,97*	-0,78*	....
DifMED2	0,44*	0,26	0,37	0,92*	0,29	0,10	0,22	....

*P < 0,05; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.14 – Correlação entre consumo de matéria seca, metano e medidas termográficas cinco horas após o fornecimento da alimentação (5h)

Item	CMS	CH ₄	CH ₄ /MS	CH ₄ /PM
DifP	-0,22	-0,29	-0,08	-0,12
DifMIN	-0,12	0,20	0,29	0,21
DifMAX	-0,21	-0,33	-0,06	-0,17
DifMED	-0,08	0,07	0,12	0,07
DifP ²	-0,29	-0,44	-0,12	-0,27
DifMIN ²	-0,10	0,09	0,16	0,10
DifMAX ²	-0,22	-0,42	-0,07	-0,30
DifMED ²	0,02	0,11	0,12	0,06

*P < 0,05; CMS = consumo de matéria seca; CH₄ = produção de metano; CH₄/MS = produção de metano pelo consumo de matéria seca; CH₄/PM = produção de metano pelo peso metabólico; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.15 – Correlação entre as medidas termográficas cinco horas após o fornecimento da alimentação (5h)

Item	DifP	DifMIN	DifMAX	DifMED	DifP ²	DifMIN ²	DifMAX ²	DifMED ²
DifP	....						
DifMIN	0,44*	....					
DifMAX	0,98*	0,37	....				
DifMED	0,69*	0,78*	0,67*	....			
DifP ²	0,94*	0,30	0,94*	0,56*	....		
DifMIN ²	0,47*	0,95*	0,41	0,79*	0,32	....	
DifMAX ²	0,89*	0,20	0,94*	0,53*	0,94*	0,23	....
DifMED ²	0,54*	0,75*	0,55*	0,93*	0,41	0,78*	0,40	....

*P < 0,05; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.16 – Correlação entre consumo de matéria seca, metano e medidas termográficas sete horas após alimentação (7h)

Item	CMS	CH ₄	CH ₄ /MS	CH ₄ /PM
DifP	-0,32	-0,27	-0,01	-0,07
DifMIN	-0,16	0,26	0,38	0,35
DifMAX	-0,33	-0,27	-0,03	-0,08
DifMED	0,03	0,12	0,08	0,12
DifP ²	-0,30	-0,32	-0,12	-0,12
DifMIN ²	-0,10	0,25	0,36	0,29
DifMAX ²	-0,25	-0,35	-0,20	-0,19
DifMED ²	0,09	0,02	-0,06	-0,04

*P < 0,05; CMS = consumo de matéria seca; CH₄ = produção de metano; CH₄/MS = produção de metano pelo consumo de matéria seca; CH₄/PM = produção de metano pelo peso metabólico; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.17 – Correlação entre as medidas termográficas sete horas após o fornecimento da alimentação (7h)

Item	DifP	DifMIN	DifMAX	DifMED	DifP ²	DifMIN ²	DifMAX ²	DifMED ²
DifP	....						
DifMIN	0,46*	....					
DifMAX	0,98*	0,47*	....				
DifMED	0,59*	0,75*	0,60*	....			
DifP ²	0,92*	0,26	0,90*	0,49*	....		
DifMIN ²	0,38	0,91*	0,40	0,71*	0,21	....	
DifMAX ²	0,89*	0,27	0,92*	0,51*	0,96*	0,23	....
DifMED ²	0,49*	0,71*	0,48*	0,94*	0,40	0,65*	0,42*	....

*P < 0,05; DifP = diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN = diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito; DifMAX = diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED = diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito; DifP² = quadrado da diferença das temperaturas entre os pontos esquerdo e direito; DifMIN² = quadrado da diferença das temperaturas mínimas dos flancos esquerdo e direito;; DifMAX² = quadrado da diferença das temperaturas máximas dos flancos esquerdo e direito; DifMED² = quadrado da diferença das temperaturas médias dos flancos esquerdo e direito.

Tabela A.18– Valores do teste de Kaiser-Meyer-Olkin

Hora	KMO para as temperaturas média, mínima, máxima e do ponto dos lados esquerdo e direito	KMO para as diferenças de temperatura do lado esquerdo em relação ao lado direito
- 1	0,55	0,47
- 0,5	0,60	0,45
0	0,53	0,36
0,5	0,66	0,49
1	0,58	0,40
2	0,69	0,53
3	0,74	0,49
5	0,65	0,42
7	0,68	0,56

*KMO - teste de Kaiser-Meyer-Olkin.