

Capítulo 14

Desafios para a mitigação da emissão de metano entérico no Semiárido brasileiro



Glacyane Costa Gois^{1}, Tadeu Vinhas Voltolini², George Henrique Melo de Sá Marquim Ferraz Nogueira³, Jaíne Santos Amorim³, Regiane Nascimento Santos⁴, Juliana de Souza Pereira⁴, Anderson Emanuel Severo de Lima²*

¹ Pós-Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias no semiárido da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, PE. Rodovia BR 407, km 12, lote 543, Projeto de Irrigação Nilo Coelho, s/n, 56310-770, Petrolina, PE, Brasil. *Autor para correspondência.

E-mail: glacyane_gois@yahoo.com.br

² Pesquisador da Embrapa Semiárido e docente das pós-graduações em Ciência Animal e Ciências Veterinárias do Semiárido da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF).

³ Mestrandos em Ciências Veterinárias no Semiárido da UNIVASF Petrolina, PE,

⁴ Mestrandos em Ciência Animal da UNIVASF, Petrolina, PE.

As alterações climáticas suscitam preocupações crescentes em todos os países do mundo. Historicamente, a pecuária está ligada ao desenvolvimento econômico de diversas regiões brasileiras. De acordo com Natel et al., (2016), a cadeia produtiva de ruminantes movimentou em 2015 em torno de R\$ 169,3 bilhões, gerando cerca de 7 milhões de empregos. Com um rebanho de bovinos, caprinos e ovinos estimados em 200, 9,79 e 18,4 milhões de cabeças, o país detém a produção de carnes como uma das principais atividades da agropecuária brasileira (PIRES et al., 2015). Na região Nordeste do Brasil, o rebanho destas três espécies equivalem a 12,6%, 65,6% e 92,8% do plantel nacional (IBGE, 2017).

Segundo Moreira e Guimarães Filho (2011), a região Nordeste é detentora de aproximadamente mais de 90% do quantitativo do rebanho caprino e 60% do rebanho ovino de todo território brasileiro. Estudos sobre caprinos e ovinos no Sertão de São Francisco – PE apontam que a composição racial observada do rebanho caprino é bastante diversificada, com presença predominante de animais Sem Padrão Racial Definido em cerca de 83% das propriedades. Tipos mais bem caracterizados das raças nativas são criados em aproximadamente 15% dessas unidades.

Apesar da sua importância, a pecuária brasileira vem sendo apontada como emissora de quantidades significativas de gases de efeito estufa (GEE), uma vez que esta é responsável por cerca de 11% das emissões e a ineficiência do modelo de exploração tem gerado maiores emissões por quilo de carne e/ou de leite produzidos (IPCC, 2007). Os principais contribuintes para emissões no setor são o dióxido de carbono, óxido nitroso e o metano (CH_4) tanto de forma direta, por meio da fermentação ruminal nos ruminantes ou de forma indireta, como a produção de rações, por exemplo (HRISTOV et al., 2017). O metano está diretamente relacionado com a eficiência da fermentação ruminal e perda da energia bruta ingerida nos sistemas de produção (TURNER, et al., 2016).

A Índia e o Brasil lideram o ranking mundial de emissão total de metano entérico, com 14,5 e 10,3 Tg (Teragrama = milhão de tonelada) de CH_4 /ano, respectivamente. Quando é considerada apenas a emissão por bovinos, o Brasil é apontado como o maior emissor (11,16 Tg de CH_4 /ano), correspondendo a 89,9% do total de CH_4 emitido pela agropecuária (ALVES et al., 2018), sendo o gado de corte responsável por 75% da emissão de CH_4 devido ao tamanho da população bovina, seguido pelo gado de leite com 12%. Os ovinos contribuem com a emissão anual de 6,5 a 14,4 kg de metano ruminal por animal (Machado et al., 2011). Em regiões semiáridas Gordiano (2015) e Barbosa et al., (2018) verificaram que caprinos emitiram cerca de 13,0 a 41,7 g/animal/dia de metano, enquanto as emissões de ovinos variaram de 11,4 a 19,2 g/animal/dia (MOTA, 2014; COSTA, 2016). De acordo

com o MCTIC (2014), a soma das emissões de pequenos ruminantes, suínos, eqüídeos e bubalinos corresponde a 3% da emissão total de CH_4 de origem fermentativa.

2 METANO

O metano é um gás inodoro e incolor emitido em maior quantidade pelos ruminantes. Sua molécula é um tetraedro apolar, de pouca solubilidade na água, e, quando adicionado ao ar, transforma-se em uma mistura de alto teor explosivo (VIEIRA et al., 2010). A produção do metano é realizada pelos organismos metanogênicos ruminais, a partir de hidrogênio (H_2) e gás carbônico (CO_2). O processo pode ser visto como um dreno, que utiliza o H_2 produzido pelos microrganismos ruminais, favorecendo a produção total de ATP (QIAO et al., 2014).

O conhecimento dos mecanismos de síntese de CH_4 e os fatores que afetam sua produção são importantes, pois atualmente um dos maiores desafios no sistema produtivo de ruminantes é desenvolver dietas e estratégias de manejo que minimizem a sua produção, possibilitando maior eficiência produtiva e redução da contribuição negativa da pecuária para o aquecimento global (KNAPP et al., 2014).

Bovinos podem produzir com cerca de 250 a 500 L/dia, já ovinos e caprinos produzem 25 a 55 L/dia, sendo essa produção dependente do tamanho e categoria do animal e ingestão de matéria seca (MACHADO et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2017). O metano advindo do esterco contribui em 2% das emissões globais desse GEE e 0,4% das emissões globais dos gases de efeito estufa (KNAPP et al., 2014). Ovinos e caprinos produzem entre 10 a 16 kg de CH_4 /ano e bovinos cerca de 60 a 160 kg de CH_4 /ano (FREIRE et al., 2015) provenientes do esterco.

Uma preocupação com relação à produção de metano está no fato de os ruminantes por meio do processo de eructação, expelirem esse gás para o meio ambiente. Segundo Moretto (2007), a emissão global de metano de origem entérica é estimada em 80 milhões de toneladas ao ano, o que corresponde a cerca de 22% das emissões totais de metano gerada por fontes antrópicas, de modo a representar 3,3% do total dos gases de efeito estufa.

No Brasil a maior parte das emissões de metano de origem entérica é proveniente de bovinos criados de forma extensiva em pastagens que encontram-se degradadas em grande proporção. Esse cenário gera ineficiência ao processo produtivo, ocasionando maiores emissões de metano por unidade de produto de origem animal produzido (DIAS et al., 2017).

Segundo Paulino e Teixeira, (2009), considerando que a taxa de lotação média no Brasil é em torno de 1,1 bovinos/hectare, verifica-se que os bovinos emitem 56 kg de metano e 54 kg de gás carbônico por ano.

Bovinos criados em ambiente tropical mantidos em pastagens apresentam a produção de metano entérico afetada pela constituição morfológica e composição química das plantas forrageiras desse ambiente, sendo menor em pastagens de leguminosas em comparação às gramíneas (CODOGNOTO et al., 2014). Além disso, a temperatura ambiental também pode afetar a produção de gás, pela interferência na composição química das plantas e de forma direta, com alterações no comportamento ingestivo do animal e nas características da digestão (HOOK et al., 2010).

3 PRODUÇÃO DE METANO

A produção de metano pelos ruminantes faz parte do processo da digestão. Quando o alimento chega ao rúmen, ele é atacado por microorganismos ruminais que convertem o alimento ingerido em energia na forma de ATP (adenosina trifosfato). Deste processo são formados compostos como os ácidos graxos de cadeia curta (acetato, propionato e butirato), mas também geram subprodutos indesejáveis como o CO_2 , H_2 e CH_4 (VALADARES FILHO e PINA, 2011). Um total de $87 \pm 1.2\%$ da produção total de metano ocorre no rúmen e $95 \pm 1.4\%$ do metano ruminal é excretado via eructação (DAVIDSON e STABENFELDT, 2014).

O CH_4 é produzido em condições anaeróbias por microrganismos *Archaea* metanogênicas pertencentes aos gêneros: *Methanobrevibacter*, *Methanobacterium*, *Methanomicrobium*, *Methanosphaera* e *Methanosarcina* (Tabela 1), e fungos e protozoários pertencentes à *Eukaryas* presentes no ambiente ruminal, sendo influenciado pela espécie e nível produtivo do animal, quantidade e grau de digestibilidade da massa digerida e do esforço a que se submete o animal (OLIVEIRA e IGARASI, 2013).

A produção de acetato e butirato, predominante durante a fermentação de carboidratos fibrosos, resulta em liberação líquida de H_2 e favorece a metanogênese. Já a formação de propionato é uma via competitiva de utilização de H_2 no rúmen, reduzindo a disponibilidade de substrato para a metanogênese. Assim, a produção de CH_4 , depende do balanço de H_2 no rúmen, sendo influenciada pelas taxas de produção de acetato e propionato (MACHADO et al., 2011).

Tabela 1. Gêneros, espécies e substratos metanogênicos em ruminantes.

Animal	Gênero	Espécie representativa	Substrato metanogênico
Bovino; Ovino	Methanobrevibacter	M.ruminantium; M.smithii	CO ₂ /H ₂ ; formato
Bovino	Methanosphaera	M.stadtmanae	CO ₂ /H ₂ ; metanol
Bovino	Methanomicrobium	M.mobile	CO ₂ /H ₂ ; formato
Bovino; Ovino	Methanobacterium	M.formicum; M.bryantii	CO ₂ /H ₂ ; formato
Bovino; Caprino; Ovino	Methanosarcina	M.barkeri; M.mazai	CO ₂ /H ₂ ; metanol; Acetato

Adaptado de Qiao et al., (2014)

O metano formado age como dreno de hidrogênio, viabilizando o funcionamento do rúmen pela diminuição parcial de H₂, o que possibilita a regeneração da Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo (NADH + H⁺ → NAD⁺) que é utilizada pelas bactérias fibrolíticas. Além disso, a metanogênese é considerada uma reação consumidora de energia, permitindo um melhor rendimento total de ATP, o que proporciona um aumento das células microbianas, aumentando a proteína disponível para o ruminante. Isso indica que a produção de CH₄ pode trazer também benefício aos ruminantes, já que promove uma fermentação mais eficaz e mantém baixa a concentração de H₂ no rúmen (CAREGA e DANTAS, 2017).

Estratégias para reduzir a emissão do metano vem sendo estudadas e são classificadas em três grandes categorias: a primeira é o manejo alimentar pelo fornecimento de alimentos de boa qualidade e aumento da produtividade animal e eficiência alimentar. Alguns alimentos podem aumentar ou diminuir a produção de propionato, diminuindo o H₂ que seria convertido a metano; a segunda são os modificadores ruminais, pela adição de substâncias específicas que direta ou indiretamente inibem as bactérias metanogênicas; a terceira é o aumento da produção animal através da genética e outras abordagens de gestão, com a melhoria de utilização de nutrientes para fins produtivos, aumentando a eficiência alimentar e diminuindo a produção de metano por unidade de produto, seja carne ou leite (KNAPP et al., 2014; BRUNES e COUTO et al., 2017).

Estudos mostram que o pH ótimo para a produção de metano encontra-se em torno de 6,0 a 6,5, ou seja, próximo da neutralidade e corresponde ao pH normal do rúmen, essa produção pode ser diminuída de acordo com as dietas recebidas pelos animais, pois o substrato oferecido modifica a microbiota ruminal e consequentemente o pH (POULSEN et al., 2012).

Manipulando a composição nutricional da alimentação de ruminantes pode-se alterar a produção de metano, haja visto que a composição e qualidade dos alimentos interferem na fermentação e nos produtos resultantes da fermentação ruminal. De acordo com Freire et al., (2015), a produção de metano é influenciada pelo nível de ingestão de ração, o tipo de carboidrato da dieta e a alteração da microflora ruminal. Desta maneira, estratégias alimentares que reduzam as emissões de metano podem trazer benefícios ao meio ambiente e ao próprio ruminante.

Para reduzir a produção de metano pelos ruminantes técnicas nutricionais, como o uso de ionóforos, glicerol, componentes secundários de plantas (taninos condensados e saponinas), óleos essenciais (óleos de canola, óleo de alho, linhaça, girassol e etc.), lipídios, receptores de elétrons (nitrito), vacinas, anticorpos policlonais, técnicas de manejo de pastagens, melhoramento genético e sistemas eficientes de produção (Figura 1), têm sido utilizadas e estão sendo estudadas de forma a manipular a fermentação ruminal e reduzir a emissão do metano entérico entre 20 e 40 % por animal (CODOGNOTO et al., 2014; El-Zaiat et al., 2014; NEWBOLD et al., 2014; PIÑEIRO-VÁZQUEZ et al., 2015; KOLLING et al., 2018; LINS et al., 2018).



Figura 1. Estratégias nutricionais para a redução do metano em ruminantes. (Fonte: Stella et al., 2017)

Estratégias como a defaunação, a inclusão de concentrado na ração dos ruminantes e alteração do processamento de rações também são utilizadas. Wright et al., (2004) em estudo testando duas vacinas: VF3 (baseada em três cepas metanogênicas) e VF7 (baseada em sete amostras metanogênicas) em ovinos, observaram que o uso das vacinas estimulariam o sistema imunológico para produzir anticorpos contra metanogênicas, reduzindo em 7,7% a produção de

metano. No entanto, Wright et al., (2007) afirmaram que mesmo que alguma vacina seja encontrada, esta será específica para cada situação, pois a população metanogênica pode variar com base na dieta e localização geográfica do hospedeiro, de modo a aumentar o desafio de se trabalhar com imunizadores.

A manipulação ruminal é uma alternativa para aumentar a eficiência de utilização das dietas consumidas pelos ruminantes, propiciando a conversão dos nutrientes em produtos como carne e/ou leite, além de reduzir os impactos dos sistemas de produção no ambiente. O uso da suplementação lipídica na dieta de ruminantes é uma estratégia de mitigação de metano e tem se mostrado promissora para o aumento da eficiência no sistema de produção animal, uma vez que podem promover a redução de CH_4 por ação deletéria sobre as bactérias metanogênicas e consumo do H_2 no processo de biohidrogenação (PEDREIRA et al., 2005). De acordo com Beauchemin et al., (2008), a adição de lipídeos às rações é uma das estratégias mais promissoras para manipular a fermentação ruminal, podendo reduzir a emissão de metano de 10 a 25%.

Uso de fontes lipídicas

Martin et al., (2009) sumarizaram dados de estudos *in vivo* de 28 publicações avaliando os efeitos de diferentes fontes de lipídeos sobre a emissão de metano entérico em bovinos e ovinos. O resultado obtido foi redução de 3,8% na emissão de metano (g/kg de MS ingerida) para cada 1% de gordura adicionada na dieta (% do CMS). Grainger et al., (2010) avaliaram os efeitos da suplementação de dietas de vacas leiteiras com caroço de algodão sobre a metanogênese, por 12 semanas, pela técnica do gás traçador SF_6 . Os autores verificaram uma redução na emissão de metano (3,5 g de CH_4 /kg de MS ingerida), ao longo do período experimental, com a adição de caroço de algodão (2,61 kg de MS/vaca/dia). A redução observada na produção de metano (g/kg de MS ingerida), de 5,1% na primeira semana, aumentou para 14,5% na 12ª semana.

Os óleos essenciais são misturas complexas de terpenóides e compostos fenólicos, associados com odor e cor de algumas plantas, que possuem atividade antimicrobiana contra bactérias gram-positivas e gram-negativas e que podem ter atividade antimetanogênica pelo efeito inibitório sobre acúmulo de H_2 no rúmen (SAMAL et al., 2016). Suplementos lipídicos ricos em ácidos graxos de cadeia média (12 a 14 átomos de carbono), tais como óleos de coco, de palmáceas ou de canola (rico em ácido láurico), ou ácido mirístico purificado, são mais depressivos sobre a emissão de metano, principalmente em dietas ricas em concentrado e com baixos níveis de cálcio (PEREIRA, 2013).

Morgado et al., (2012), ao avaliarem a produção de CH_4 *in vitro* em dietas contendo alto teor de amido ou fibra em detergente neutro associada ou não com

óleo de girassol, observaram que a inclusão do óleo de girassol nas dietas reduziu a produção de metano. Yadegheri et al., (2015), testando o efeito da adição de óleo essencial na produção de metano, observaram redução de 4,22; 4,32; 4,03; 2,51 e 1,81 mL /100g de MS para os níveis de 0; 250; 500; 750 e 100 µl/L de inclusão de óleos essenciais na dieta.

Concentrado na dieta

A inclusão de concentrado na dieta dos animais gera alteração na fermentação ruminal, diminuindo a proporção de acetato:propionato. Em contrapartida, a produção de CH₄ entérico é menor quando os ruminantes recebem uma dieta rica em grãos, produzindo 2-3% menos de CH₄. Isto ocorre devido o concentrado possui maior quantidade de carboidratos solúveis e maior digestibilidade (BEAUCHEMIN et al., 2008). Zotti e Paulino (2009), citam que o concentrado atua diminuindo o pH ruminal, o que afeta diretamente as bactérias metanogênicas, haja visto que essas são muito sensíveis à alterações do ambiente ruminal, principalmente no pH, necessitando que este esteja o mais próximo da neutralidade, em torno de 5,8 a 6,5.

Segundo Primavesi et al., (2004), somente com a utilização de dietas com níveis de concentrado menores ou iguais a 40% do consumo de matéria seca, se aumentam as emissões de CH₄ por animal por favorecer os microrganismos fibrolíticos e disponibilizar maior quantidade de energia para degradação da fibra, porém diminui a emissão por unidade de produção.

Dietas à base de volumosos favorecem a formação de acetato, aumentando a produção de H₂ e de CH₄ por unidade de matéria orgânica fermentada (JOHNSON e JOHNSON, 1995). Quando ruminantes são alimentados com forragem cerca de 5,5 a 6,5% da energia bruta ingerida é convertida a metano. Entretanto, mensurações realizadas em câmaras respirométricas (calorimetria indireta) mostraram grande variação na emissão de metano, de 2 a 12% da energia bruta ingerida (PEREIRA, 2013). Barbosa et al., (2018) ao analisarem o efeito de diferentes proporções de volumoso e concentrado em dietas para caprinos em Petrolina-PE, verificaram que o aumento nas proporções de concentrado proporcionaram maiores consumos e digestibilidade da matéria seca e matéria orgânica, melhor eficiência alimentar e ganho de peso e menor emissão de metano entérico por unidade de peso corporal de caprinos.

Um fator importante a ser considerado é o método de conservação e o processamento da forragem. Li et al., (2017) citam que a metanogênese tende a ser menor em silagens do que em fenos e quando a forragem é finamente moída ou peletizada do que quando é picada grosseiramente. A moagem e a peletização reduzem a metanogênese em 20 a 40% da produção de metano por unidade de

dieta, devido ao aumento da taxa de passagem. Entretanto, tais efeitos não são aparentes quando o consumo desses alimentos é restrito. A amoniação ou a suplementação proteica de forragens de baixa qualidade aumentam a perda de metano proporcionalmente ao incremento da digestibilidade. Entretanto, a produção de metano por unidade de produto é reduzida (CANESIN et al., 2014).

Segundo Beauchemin (2011), animais confinados apresentaram redução de 2% na produção de metano entérico, devido à utilização de níveis elevados de concentrado e um menor tempo de confinamento e pela diminuição da idade de abate quando comparado a sistemas à pasto. Chizzotti et al., (2011), ao avaliar os efeitos da idade de abate sobre a emissão de metano por bovinos de corte, observaram que a redução do tempo de abate de 44 para 30, 26, 20 e 14 meses reduziu a emissão de CH_4 em 23,4%, 31,2%, 53% e 67,7%, respectivamente.

Inclusão de taninos e saponinas

A presença de taninos em alimentos fornecidos aos ruminantes tem apresentado como resultado a redução na produção de metano, entretanto o efeito de taninos sobre a metanogênese é variável entre os compostos uma vez que sua ação depende da estrutura e concentração no alimento. Cordão et al., (2010) citam que leguminosas taníferas podem diminuir em 16% a emissão de metano produzido por ruminantes, o que contribui para o aproveitamento da energia conferida pelo alimento. A caatinga apresenta elevada presença de leguminosas as quais possuem teores consideráveis de taninos, demonstrando potencial para a redução de metano (OLIVEIRA et al., 2017).

Puchala et al., (2012) avaliaram caprinos alimentados com *Sericea lespedeza* (20% de taninos condensados em sua composição), *Sorghum bicolor* e *Medicago sativa* constaram uma menor produção de CH_4 por unidade de matéria seca ingerida (MSI) de *Sericea lespedeza* do que para as outras forrageiras (11,1, 17,6 e 18,8g CH_4 /kg MSI). Os autores relataram que, embora a presença de taninos condensados na dieta tenha prejudicado sua digestibilidade (49,4% para *Sericea lespedeza* contra 60,3% e 65% para *Medicago sativa* e *Sorghum bicolor*, respectivamente), isto foi compensado por um aumento no consumo de matéria seca da forragem, além de contribuírem para menores taxas de emissão de CH_4 .

As saponinas causam efeito de redução da metanogênese através do seu potencial em aumentar fluxo de proteína microbiana a partir do rúmen, aumentando a eficiência de utilização da ração. Hess et al. (2003) utilizando altas doses de saponinas (12mg/g de MS), observaram decréscimo de 54% na contagem de protozoários e redução de 20% na produção de metano *in vitro*. De acordo com os autores, a redução do metano está relacionada com a redução da população de protozoários e com isso há menor suprimento de H_2 .

Uso de ionóforos e nitrato

O uso de ionóforos tem por objetivo manipular a fermentação ruminal, aumentando a proporção molar de propionato e reduzindo a de acetato e butirato, em consequência ocorre uma diminuição da produção de metano (MOURTHE et al., 2011). Guan et al., (2006) utilizando ionóforos em dietas para bovinos como uma estratégia para a mitigação das emissões de CH_4 entérica, avaliaram os efeitos de curto e longo prazo de uma alimentação de um único ionóforo (monensina) ou rotação de dois ionóforos (monensina e lasalocida) nas emissões de metano entérico em novilhos, e observaram que a utilização de monensina e da rotação da monensina e lasalocida diminuíram a população total de protozoários ciliados. Esses dados sugerem que os efeitos dos ionóforos sobre a produção de CH_4 entéricos estão relacionados à populações de protozoários ciliados. O uso de ionóforos pode resultar em resistência dos microorganismos ruminais e, como resultado, o efeito é de curta duração.

O fornecimento de nitrato na ração dos ruminantes promove o uso de H_2 competindo com a produção de CH_4 , além disso, o nitrato é uma fonte de nitrogênio não proteico (NNP) para os microorganismos ruminais. Com elevado equivalente proteico, do mesmo modo que a uréia, também pode substituir parte da proteína de origem vegetal com vantagens ambientais, pois apresenta potencial em reduzir a emissão de metano (FLOCKHART et al., 2017). Segundo Kozloski (2011), o nitrato é inicialmente convertido a nitrito e posteriormente a amônia. Durante essa conversão, são consumidos 8 elétrons a cada mol de nitrato, o que confere ao nitrato o status de competidor de substrato às bactéria metanogênicas (BERCHIELLI et al., 2012).

El-Zaiat et al., (2014) estudaram dietas com ureia e 4,51% de nitrato encapsulado na dieta para ovinos Santa Inês e observaram que o nitrato encapsulado diminui a quantidade de protozoários no rúmen e a produção de metano também foi reduzida, de 28,6 e 19,1 L por kg de matéria seca ingerida, nos tratamentos com ureia e 4,51% de nitrato encapsulado, respectivamente, sem alterar o consumo de matéria seca pelos animais.

4

TÉCNICA *IN VIVO* DO GÁS TRAÇADOR - HEXAFLUORETO DE ENXOFRE (SF_6)

O método do marcador hexafluoreto de enxofre (SF_6) é relativamente novo e foi descrito pela primeira vez em 1994. A técnica tem sido utilizada principalmente para mensurar a emissão de metano em animais em pastejo. A ideia básica do método é medir a emissão de metano a partir taxa de emissão conhecida de um gás marcador pelo rúmen. Para

este resultado, um gás não tóxico, fisiologicamente inerte e estável é necessário. O SF₆ atende a esses critérios, é barato, tem um limite de detecção extremamente baixo e é simples de analisar. Essa técnica apresenta como vantagem a possibilidade dos animais manterem seus comportamentos naturais habituais (HILL et al., 2016).

O SF₆ é fornecido ao animal dentro de tubos de permeação de pequenas dimensões com taxa de permeação conhecida. Estes tubos são colocados no interior do rúmen dos animais e o gás é liberado em fluxo contínuo e eructado juntamente com o metano produzido. O ar expirado é amostrado através de um tubo capilar de aço inoxidável, colocado na narina do animal adaptado a um cabresto. Esse tubo deve estar conectado a uma canga previamente pressurizada com pressão negativa. A canga consiste em um cano de PVC de alta resistência, ao qual é acoplada uma válvula de metal para amostragens dos gases (HAMMOND et al., 2016; LIMA et al., 2016). As cangas ficam presas em torno do pescoço ou na região dorsal dos animais (Figura 2).



Figura 2. Animais equipados com os aparatos para a coleta de gases pela técnica do SF₆. (Fonte: Arquivo pessoal).

A maior parte do metano é produzida no rúmen e liberado para a atmosfera por eructação, porém o intestino grosso, através de fermentação, produz pequenas quantidades desse gás, o qual tem uma parcela absorvida pela corrente sanguínea e liberada pela expiração. Desta forma o gás produzido no intestino também é aferido pela técnica do gás SF₆ (LEE et al., 2017).

Uma vez que a canga está carregada com pressão negativa, a amostra do ar exalado pelos animais é coletada para o seu interior e, terminado o período de coleta, normalmente de 24 horas, as amostras são diluídas com nitrogênio e analisadas em sistema de cromatografia gasosa para se determinar as concentrações de SF₆ e CH₄ em seu interior (HAMMOND et al., 2016). A partir da

taxa conhecida de liberação do SF₆ no rúmen e das concentrações destes gases nas amostras de gás mensuradas, calcula-se o fluxo de metano liberado pelo animal. Essa técnica elimina a necessidade de confinar e domar os animais para gaiolas, máscara facial ou câmaras respirométricas e permite que eles se desloquem em condições normais de pastejo (ZOTTI & PAULINO, 2009).

Nogueira (2019) utilizando a técnica do gás traçador na quantificação da emissão de metano entérico em ovelhas Lacaune x Santa Inês mantidas em pastos de Tifton 85 e suplementadas com diferentes fontes de energia no concentrado (milho e caroço de algodão), não observou diferenças entre a estimativa de emissão de metano entérico (em g/animal/dia, g/kg CMS e g/kg CFDN) de acordo com as dietas avaliadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversas estratégias são consideradas relevantes para contribuir com a redução da emissão do metano entérico. Para tanto, é de suma importância a adoção de pesquisas que possibilitem ao setor pecuário manter sua expansão sobre uma base de maior intensidade tecnológica, o que ocasionará benefícios econômicos sociais e ambientais a atividade pecuária.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A.R.; MEDEIROS, A.N.; ANDRADE, A.P.; FRIGHETTO, R.T.S.; SILVA, M.J.S. 2018. A Caatinga e a oportunidade de mitigação das emissões de gases de efeito estufa pela atividade pastoril. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, 11: 639-661.

BARBOSA, A.L.; VOLTOLINI, T.V.; MENEZES, D.R.; MORAES, S.A.; NASCIMENTO, J.C.S.; RODRIGUES, R.T.S. 2018. Intake, digestibility, growth performance, and enteric methane emission of Brazilian semiarid non-descript breed goats fed diets with different forage to concentrate ratios. **Tropical Animal Health and Production**, 50: 283-289.

BEAUCHEMIN, K.A. 2011. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada – Evaluation using farm-based life cycle assessment. **Animal Feed Science and Technology**, 166:663– 677.

BEAUCHEMIN, K.A.; KREUZER, M.; O'MARAC, F.; McALLISTER, T.A. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, 48:21–27.

BERCHIELLI, T.T.; MESSANA, J.D.; CANESIN, R.C. 2012. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 13:954-968.

BRUNES, L.C.; COUTO, V.R.M. 2017. Balanço de gases de efeito estufa em sistemas de produção de bovinos de corte. **Archivos de Zootecnia**, 66: 287-299.

CANESIN, R.C.; BERCHIELLI, T.T.; MESSANA, J.D.; BALDI, F.; PIRES, A.V.; FRIGHETTO, R.T.S.; FIORENTINI, G.; REIS, R.A. 2014. Effects of supplementation frequency on the ruminal fermentation and enteric methane production of beef cattle grazing in tropical pastures. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 43:590-600.

CAREGA, M.F.C.S.; DANTAS, A. 2017. Metano ruminal e o uso de taninos condensados como estratégia de mitigação. **Nucleus Animalium**, 9:51-64.

CHIZZOTTI, M.L.; LADEIRA, M.M.; MACHADO NETO, O.R.; LOPES, L.S. 2011. Eficiência da produção de bovinos e o impacto ambiental da atividade pecuária. In.: Simpósio de Pecuária de Corte, VII, Simpósio Internacional de Pecuária de Corte, II, Lavras, **Anais...** Lavras, MG: SIMPEC, 2011. p.37-60.

CODOGNATO, L.C.; PORTO, M.O.; CAVALI, J.; FERREIRA, E.; STACHIW, R. 2014. Alternativas de mitigação de emissão de metano entérico na pecuária. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, 3:81-92.

CORDÃO, M.A.; PEREIRA FILHO, J.M.; BAKKE, O.A.; BAKKE, I.A. 2010. Taninos e seus efeitos na alimentação animal: Revisão bibliográfica. **PUBVET**, 4: 1-31.

COSTA, H.H.A. 2016. **Caracterização florística da pastagem nativa da caatinga e efeitos aditivos sobre o consumo, emissão de metano e desempenho de ovinos**. 2016. 109f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte – Minas Gerais.

DAVIDSON, P.A.; STABENFELDT, H.G. 2014. **Cunningham tratado de fisiologia veterinária**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 624 p.

DIAS, L.L.R.; KOVACS, T.A.S.; RIBEIRO, M.G. 2017. Mitigação dos gases do efeito estufa em bovinos criados a pasto. In.: Simpósio em Produção Sustentável e Saúde Animal, II, Umarama, **Anais...** Umarama, PR: UEM, 2017, p. 169-172.

EL-ZAIAT, H.M.; ARAUJO, R.C.; SOLTAN, Y.A.; MORSY, A.S.; LOUVANDINI, H.; PIRES, A.V.; PATINO, H.O.; CORREA, P.S.; ABDALLA, A.L. 2014. Encapsulated nitrate and cashew nut shell liquid on blood and rumen constituents, methane emission, and growth performance of lambs. **Journal of Animal Science**, 92:2214-2224.

FLOCKHART, J.F.; MACPHERSON, L.; ADAMIK, C.; HYSLOP, J.; BELL, J. 2017. The practical feasibility of including lipids and nitrates in livestock diets. **Climate Change & Agriculture**, 21p.

FREIRE A.P.A.; SILVA, F.L.M.; POLIZEL, D.M.; SUSIN, I. 2015. Nitrato na

alimentação de ruminantes mitiga a produção de metano. **Ciência Veterinária nos Trópicos**, 18:06-12.

GORDIANO, L.A. 2015. **Emissão de metano por caprinos em pastejo na caatinga nos períodos seco e chuvoso**. 2015. 67f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Vale do São Francisco. Petrolina - Pernambuco.

GRAINGER C.; WILLIAMS, R.; CLARKE, T.; WRIGHT, A.D.; ECKARD, R.J. 2010. Supplementation with whole cottonseed causes long-term reduction of methane emissions from lactating dairy cows offered a forage and cereal grain diet. **Journal Dairy Science**, 93:2612-2619.

GUAN, H.; WITTENBERG, K.M.; OMINSKI, K.H.; KRAUSE, D.O. 2006. Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. **Journal of Animal Science**, 84:1896-1906.

HAMMOND, K.J.; CROMPTON, L.A.; BANNINK, A.; DIJKSTRA, J., YÁNEZ-RUIZ, D.R.; O'KIELY, P.; KEBREAB, E.; EUGÈNE, M.A.; YU, Z., SHINFIELD, K.J.; SCHWARMK, A.; HRISTOV, A.N.; REYNOLDS, C.K. 2016. Review of current in vivo measurement techniques for quantifying enteric methane emission from ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, 219:13-30.

HESS, H. D.; KREUZER, M.; DÍAZ, T. E.; LASCANO, C. E.; CARULLA, J. E.; SOLIVA, C. A.; MACHMULLER, A. 2003. Saponin rich tropical fruits affect fermentation and methanogenesis in faunated and defaunated rumen fluid. **Animal Feed Science and Technology**, 109:79-94.

HILL, J.; MCSWEENEY, C.; WRIGHT, A.D.G.; BISHOP-HURLEY, G.; KALANTAR-ZADEH, K. 2016. Measuring Methane Production from Ruminants. **Trends in Biotechnology**, 34:26-35.

HOOK, S.E.; WRIGHT, A.D.G.; MCBRIDE, B.W. 2010. Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies. **Archaea**, 2010:1-11.

HRISTOV, A.N.; HARPER, M.; MEINEN, R.; DAY, R.; LOPES, J.; OTT, T.; VENKATESH, A.; RANGLES, C.A. 2017. Discrepancies and Uncertainties in Bottom-up Gridded Inventories of Livestock Methane Emissions for the Contiguous United States. **Environmental Science & Technology**, 51:13668-13677.

IBGE. Instituto brasileiro de geografia e estatística. 2017. Pesquisa Pecuária Municipal. Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp>. Acesso em: 27 mar 2019.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. **Fourth Assessment Report (AR4): Mitigation of Climate Change**. Cambridge, Cambridge University Press United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

- JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. 1995. Methane Emissions from Cattle. **Journal of Animal Science**, 73:2483-2492.
- KNAPP, J.R.; LAUR, G.L.; VADAS, P.A.; WEISS, W.P.; TRICARICO, J.M. 2014. Invited review: enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. **Journal of Dairy Science**, 97:3231-3261.
- KOLLING, G.J.; STIVANIN, S.C.B.; GABBI, A.M.; MACHADO, F.S.; FERREIRA, A.L.; CAMPOS, M.M.; TOMICH T.R.; CUNHA, C.S.; DILL, S.W.; PEREIRA, L.G.R.; FISCHER, V. 2018. Performance and methane emissions in dairy cows fed oregano and green tea extracts as feed additives. **Journal of Dairy Science**, 101:4221-4234.
- KOZLOSKI, G.V. 2011. **Bioquímica dos ruminantes**. 3ed. Santa Maria: UFSM. 216 p.
- LEE, M.A.; TODD, A.; SUTTON, M.A.; CHAGUNDA, M.G.G.; ROBERTS, D.J.; REES R.M. 2017. A time-series of methane and carbon dioxide production from dairy cows during a period of dietary transition. **Cogent Environmental Science**, 3:1-14.
- LI, M.; ZHOU, H.; ZI, X.; CAI, Y. 2017. Silage fermentation and ruminal degradation of stylo prepared with lactic acid bacteria and cellulase. **Animal Science Journal**, 88:1531-1537.
- LIMA, A.R.C. FERNANDES, M.H.M.R.; TEIXEIRA, I.A.M.A.; FRIGHETTO, R.T.S.; BOMPADRE, T.F.V.; BIAGIOLI, B.; MEISTER, N.C.; RESENDE, K.T. 2016. Effects of feed restriction and forage:concentrate ratio on digestibility, methane emission, and energy utilization by goats. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 45:781-787.
- LINS, T.O.J.D'A.; TERRY, S.A.; SILVA, R.R.; PEREIRA, L.G.R.; JANCEWICZ, L.J.; HE, M.L.; WANG, Y.; MCALLISTER, T.A.; CHAVES, A. 2018. Effects of the inclusion of *Moringa oleifera* seed on rumen fermentation and methane production in a beef cattle diet using the rumen simulation technique (Rusitec). **Animal**, 1:1-9.
- MACHADO, F.S.; PEREIRA, L.G.R.; GUIMARÃES JR., R.; LOPES, F.C.F.; CHAVES, A.V.; CAMPOS, M.M.; MORENZ, M.J.M. 2011. **Emissões de metano na pecuária: Conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 92 p. (Embrapa Gado de Leite. Documentos, 147).
- MARTIN, C.; MORGAVI, D.P.; DOREAU, M. 2009. Methane mitigation in ruminants: From microbes to the farm scale. **Animal Science**, 4:351-365.
- MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. 2014. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2.ed. Brasília: MCTI. 190p.
- MOREIRA, J.N.; GUIMARÃES FILHO, C. 2011. Sistemas tradicionais para produção de caprinos e ovinos. In: Semiárido, Embrapa. Produção de caprinos e ovinos no Semiárido. Petrolina: Embrapa Semiárido, p. 49-68.
- MORETTO, L.M. 2007. **A mudança do clima global: O efeito estufa e a**

diminuição da camada de ozônio. Poligrafica: Venezia, 49p.

MORGADO, E.S.; EZEQUIEL, J.M.B.; GALZERANO, L.; HOMEM JÚNIOR, A.C. 2012. Produção *in vitro* de CH₄ e CO₂ em líquido ruminal de ovinos alimentados com dietas contendo alto teor de amido ou fibra solúvel em detergente neutro associado ou não ao de óleo de girassol. **Revista Científica de Produção Animal**, 14:81-84.

MOTA, C.M. **Fluxo de emissão de metano entérico de ovinos de corte mantidos em sistema agrossilvipastoril e caatinga degradada.** 2014. 67f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Estadual do Vale do Aracá. Sobral - Ceará. 2014.

MOURTHE, M.H.F.; REIS, R.B.; LADEIRA, M.M.; SOUZA, R.C.; COELHO, S.G.; SATURNINO, H.M. 2011. Suplemento múltiplo com ionóforos para novilhos em pasto: consumo, fermentação ruminal e degradabilidade *in situ*. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 63:129-135.

NATEL, A.S.; FAUSTO, D.A.; ARAGÃO, T.R.P.; ABDALLA, A.L. 2016. Otimização da pecuária nacional de forma sustentável. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 17:529-544.

NEWBOLD, J.R.; VAN ZIJDERVELD, S.M.; HULSHOF, R.B.A.; FOKKINK, W.B.; LENG, R.A.; TERCENIO, P.; POWERS, W.J.; VAN ADRICHEM, P.S.J.; PATON, N. D.; PERDOK, H.B. 2014. The effect of incremental levels of dietary nitrate on methane emissions in Holstein steers and performance in Nelore bulls. **Journal of Animal Science**, 92:5032-5040.

NOGUEIRA, G.H.M.S.M.F. 2019. **Produção de leite e emissão de metano entérico de ovelhas mantidas em pastagens e suplementadas com concentrado contendo diferentes fontes de energia.** 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias no Semiárido) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2019.

OLIVEIRA, V.S.; SANTANA NETO, J.A.; VALENÇA, R.L.; SANTOS, A.C.P. 2017. Estratégias para mitigar a produção de metano entérico. **Veterinária Notícias**, 23:39-70.

OLIVEIRA, R.C.; IGARASI, M.S. 2013. Utilização de óleos essenciais na mitigação da metanogênese. **PUBVET**, 7:1-19.

PAULINO, V.T.; TEIXEIRA, E.M.C. 2009. **Sustentabilidade de pastagens - Manejo adequado como medida redutora da emissão de gases de efeito estufa.** In: CPG- Produção animal sustentável, Ecologia de Pastagens, IZ, APTA/SAA, 16p.

PEDREIRA, M.S.; OLIVEIRA, S.G.; BERCHIELLI, T.T.; PRIMAVERSI, O. 2005. Aspectos relacionados com a emissão de metano de origem ruminal em sistemas de produção de bovinos. **Archives of Veterinary Science**, 10:24-32.

PEREIRA, L.G.R. 2013. Métodos de avaliação e estratégias de mitigação de metano entérico em ruminantes. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, 26:264-277.

PIÑEIRO-VÁZQUEZA, A.T.; CANUL-SOLÍSA, J.R.; ALAYÓN-GAMBOAB, J.A.; CHAY-CANULC, A.J.; AYALA-BURGOSA, A.J.; AGUILAR-PÉREZA, C.F.; SOLORIO-SÁNCHEZA, F.J.; KU-VERAA, J.C. 2015. Potential of condensed tannins for the reduction of emissions of enteric methane and their effect on ruminant productivity. **Archivos de Medicina Veterinária**, 47:263-272.

PIRES, M.V.; CUNHA, D.A.; CARLOS, S.M.; COSTA, M.H. 2015. Nitrogen use efficiency, nitrous oxide emissions, and cereal production in Brazil: Current trends and forecasts. **Plos One**, 10:135-234.

POULSEN, M.; JENSEN, B.B.; ENGBERG, R.M. 2012. The effect of pectin, corn and wheat starch, inulin and pH on *in vitro* production of methane, short chain fatty acids and on the microbial community composition in rumen fluid. **Anaerobe**, 18:83-90.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R.T.S.; PEDREIRA, M.S.; LIMA, M.A.; BERCHIELLI, T.T.; MEMARCHI, J.J.A.A.; MANELLA, M.Q.; BARBOSA, P.F.; JOHNSON, K.A.; WESTBERG, H.H. 2004. **Técnica do gás traçador SF₆ para medição de campo do metano ruminal em bovinos: Adaptações para o Brasil**. (Documento 39). São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste. 77p.

PUCHALA, R.; ANIMUT, G.; PATRA, A.K.; DETWEILER, G.D.; WELLS, J.E.; VAREL, V.H.; SAHLU, T.; GOETSCH, A.L. 2012. Effects of different fresh-cut forages and their hays on feed intake, digestibility, heat production, and ruminal methane emission by Boer x Spanish goats. **Journal of Animal Science**, 90:2754-62.

QIAO, J.; TAN, Z.; WANG, M. 2014. Potential and existing mechanisms of enteric methane production in ruminants. **Scientia Agricola**, 71:345-355.

SAMAL, L.; CHAUDHARY, L.C.; AGARWAL, N.; KAMRA, D.N. 2016. Effects of plants containing secondary metabolites as feed additives on rumen metabolites and methanogen diversity of buffaloes. **Animal Production Science**, 56:472-481.

STELLA, L.A.; ZUBIETA, A.S.; GOMES, B.K.; PRATES, E.R. 2017. Óleos essenciais como alternativa para a redução do metano em ruminantes. **Nutritime Revista Eletrônica**, 14:6091-7000.

TURNER, A.J.; JACOB, D.J.; BENMERGUI, J.; WOFSY, S.C.; MAASAKKERS, J.D.; BUTZ, A.; HASEKAMP, O.; BIRAUD, S.C. 2016. A large increase in U.S. methane emissions over the past decade inferred from satellite data and surface observations. **Geophysical Research Letters**, 43: 1-7.

VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. 2011. Fermentação ruminal. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Ed.). **Nutrição de ruminantes**. 2. ed.

Jaboticabal: FUNEP, p. 291-322.

VIEIRA, S.S.; ZOTTI, C.A.; PAULINO, V.T. 2010. **Práticas de manejo para minimizar a emissão de gases do efeito estufa associadas ou não ao uso de fertilizantes**. Nova Odesa: Instituto de Zootecnia. 45p.

WRIGHT, A.D.G; AUCKLAND, C.H.; LYNN, D.H. 2007. Molecular diversity of methanogens in feedlot cattle from Ontario and Prince Edward Island, Canada. **Applied and Environmental Microbiology**, 73:4206-4210.

WRIGHT, A.D.G; KENNEDY, P.; O'NEILL, C.J.; TOOVEY, A.F.; POPOVSKI, S.; REA, S.M.; PIMM, C.L.; KLEIN, L. 2004. Reducing methane emissions in sheep by immunization against rumen methanogens. **Vaccine**, 22:3976-3985.

YADEGHERI, S.; MALECKY, M.; BANADAKY, M.D.; NAVIDSHAD, B. 2015. Evaluating *in vitro* dose-response effects of *Lavandula officinalis* essential oil on rumen fermentation characteristics, methane production and ruminal acidosis. **Veterinary Research Forum**, 6: 285-293.

ZOTTI, C.A.; PAULINO, V.T. 2009. **Metano na produção animal: emissão e minimização de seu impacto**. Ecologia de Pastagens, Curso de Pós-graduação em Produção Animal Sustentável. Instituto de Zootecnia, APTA/SAA, 24p.