

Métodos de avaliação e estratégias de mitigação de metano entérico em ruminantes

Evaluation methods and enteric methane mitigation strategies in ruminants

Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, MV, PhD.

*Pesquisador da Embrapa Gado de Leite, coordenador do projeto Rumen Gases (Embrapa/CNPq/FAPEMIG), *Bolsista de Produtividade do CNPq.*

Summary

Latin America livestock industries have been especially criticised because of their large greenhouse gas production as a result of the use of degraded forages and performances below production potential. Agriculture contributes a significant amount of the three main greenhouse gases: methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂) and nitrous oxide (N₂O). Methane gas has a global warming potential 25 times greater than CO₂. Enteric methane is an important greenhouse gas which is responsible for approximately 15% of global warming. The tendency and legal necessity to mitigate the greenhouse gas emissions is likely to have a direct influence on the increased efficiency of livestock systems, including animal nutrition and handling. The development of mitigation strategies and the viability of the strategies' practical applications are issues that have been researched around the world. There are various nutritional strategies to mitigate enteric methane that have been studied and developed. All of these have different viabilities, costs and possibilities to be accepted by the producers. The choice of which one will be adopted should be based on the capacity to reduce methane emissions associated with economical viability and the maintenance of animal performance. The increase in zootechnical parameters that will be achieved in production systems (mainly the ones related to efficient forage use) associated with good nutritional, health and reproductive management are important strategies to consolidate Brazil as a food producer to the world, respecting the demands related to the land, water, conservation of biodiversity and the emission of greenhouse gases.

Key words: *climate change, greenhouse gas, livestock, methane, sustainability.*

O crescimento da população mundial e do seu poder aquisitivo tem promovido aumento acentuado da demanda por alimentos de origem animal. Estima-se que em 2050 a população mundial será de 9 bilhões, sendo necessário um aumento na produção mundial de carne de 229 milhões de toneladas (1999-2001) para 465 milhões de toneladas em 2050, e na produção de leite de 580 para 1.043 milhões de toneladas nesse mesmo período (FAO, 2006). O Brasil ocupa posição de destaque como fornecedor de proteína animal para a população mundial. Atualmente o país possui o maior rebanho comercial bovino, com 171,6 milhões de cabeças (IBGE, 2009) e detém, aproximadamente, 20% do mercado da carne (USDA, 2009), sendo o 5º maior produtor de leite (FAO, 2012).

Apesar da reconhecida importância da agropecuária na produção de alimentos e geração de renda, atualmente muito se discute sobre o impacto ambiental das atividades pecuárias e agrícolas, principalmente relativo às mudanças climáticas. A pecuária brasileira, em especial, vem sendo criticada por emitir quantidades significativas de gases de efeito estufa (GEE). Tal crítica tem sido fundamentada nos baixos índices zootécnicos verificados em sistemas de exploração animal baseados em pastagens degradadas ou que se encontram abaixo do seu potencial de produção. A ineficiência desse modelo de exploração tem gerado maiores quantidades de GEE por quilo de carne e/ou de leite produzidos (IPCC, 2007).

Dentre os vários GEE, a agropecuária contribui de forma significativa com a emissão de três deles: metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (NO₂). O gás metano apresenta potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o CO₂ e tempo de vida na atmosfera de 9 a 15 anos, sendo sua taxa de crescimento anual de 7,0% (IPCC, 2006). A produção de metano resulta da fermentação anaeróbica da matéria orgânica em ambientes alagados, campos de arroz cultivados por irrigação de inundação, fermentação entérica, tratamento anaeróbico de resíduos animais e queima de biomassa.

O metano produzido em sistemas de produção de bovinos origina-se, principalmente, da fermentação entérica (85 a 90%), sendo o restante produzido

a partir dos dejetos destes animais. Do metano produzido por fermentação entérica no rúmen, 95% é excretado por eructação, e daquele produzido no trato digestivo posterior, 89% é excretado via respiração e aproximadamente 1% pelo ânus (Murray *et al.*, 1976). O metano derivado da fermentação entérica de ruminantes representa cerca de ¼ das emissões antropogênicas desse gás (Wuebbles e Hayhoe, 2002). Bovinos produzem de 150 a 420 litros de CH₄ por dia e ovinos de 25 a 55 L/dia (Czerkawski, 1969; Holter e Young, 1992; McAllister *et al.*, 1996), o que corresponde a emissões anuais de 39,1 a 109,5 kg e de 6,5 a 14,4 kg, respectivamente. A Índia e o Brasil lideram o ranking mundial de emissão total de metano entérico, com 14,5 e 10,3 Tg de CH₄/ano, respectivamente. Quando é considerada apenas a emissão por bovinos, o Brasil é apontado como o maior emissor (9,6 Tg de CH₄/ano), seguido da Índia (8,6 Tg de CH₄/ano) e dos Estados Unidos da América (5,1 Tg de CH₄/ano) (Thorpe, 2009). Segundo resultados preliminares do Segundo Inventário Nacional de Emissões de GEE (MCT, 2009), no ano de 2005 a agropecuária foi responsável por 22% do total das emissões de metano no Brasil.

Além de ser caracterizado como um importante GEE, responsável por 15% do aquecimento global, o metano de origem entérica tem relação direta com a eficiência da fermentação ruminal em virtude da perda de carbono e, conseqüentemente, perda de energia, influenciando o desempenho animal (Cotton e Pielke, 1995; Bell *et al.*, 2011). O conhecimento dos mecanismos de síntese de metano e os fatores que afetam sua produção são importantes. O desafio no sistema produtivo de ruminantes é desenvolver dietas e estratégias de manejo que minimizem a produção relativa de metano (metano/kg de leite, carne ou lã), possibilitando maior eficiência produtiva e redução da contribuição negativa da pecuária para o aquecimento global.

A mídia tem rotulado os bovinos como grandes vilões das mudanças climáticas, sendo que, na maioria das vezes, essas críticas não apresentam fundamentação técnico-científica. É urgente a necessidade de desenvolver e validar metodologias acuradas de mensuração da emissão de metano e gerar bancos de dados específicos para os sistemas de produção de cada região (país ou bioma), conforme relatado no primeiro inventário nacional

de emissões de GEE de origem antrópica (Grainger *et al.*, 2007; Lima *et al.*, 2006). A exploração equivocada da mídia sobre o assunto pode ser, futuramente, um pretexto para a criação de barreiras não tarifárias à exportação de produtos pecuários brasileiros. Discussões sobre como reduzir as emissões de GEE têm focado tanto alterações na cadeia de produção e abastecimento de alimentos, como na demanda, por meio de mudanças significativas nos padrões de consumo. Medidas políticas que levam a reduções radicais no consumo de alimentos de origem animal têm sido propostas como meio de reduzir as emissões globais de GEE. Entretanto, a avaliação do impacto climático da produção de diferentes alimentos deve levar em consideração o valor nutricional dos mesmos.

Smedman *et al.* (2010) utilizaram uma unidade funcional, que combina a densidade de nutrientes do alimento com a emissão de GEE na produção

dos mesmos, denominada índice de Densidade Nutricional/Impacto climático (DNIC). Os autores compararam a emissão de GEE geradas para a produção de leite, refrigerantes, suco de laranja, cerveja, vinho, água mineral gasosa e bebidas de soja e aveia. Para a produção de leite foram gerados para cada 100 g do produto, 99 g de equivalente CO₂, um dos valores mais elevados quando comparado às demais bebidas. Entretanto, quando a comparação foi realizada levando-se em consideração o DNIC (densidade de nutrientes/emissão de GEE), o leite apresentou vantagem em relação aos demais alimentos, devido ao seu alto valor nutricional (Tabela 1). Esse resultado representa argumento convincente de embate à mídia, que muitas vezes incentiva a redução no consumo de produtos de origem animal como forma de diminuir os impactos ambientais.

Tabela 1. Densidade nutricional, em relação ao impacto climático.

Alimento	Porcentagem de NNR em 100 g de produto	Número de nutrientes \geq 5% da NNR	Densidade nutricional	Emissão de GEE	Índice DNIC
Leite	126	9	53,8	99	0,54
Refrigerante	7	0	0	109	0
Suco de laranja	90	4	17,2	61	0,28
Cerveja	18	0	0	101	0
Vinho tinto	24	1	1,2	204	0,01
Água mineral	2	0	0	10	0
Bebida de soja	53	3	7,6	30	0,25
Bebida de aveia	32	1	1,5	21	0,07

NNR = Recomendações Nórdicas de Nutrição; Índice DNIC = Índice de Densidade Nutricional/Impacto Climático (DNIC = densidade nutricional/emissão de gases de efeito estufa - GEE); Emissão de GEE = emissão de GEE (g de equivalente CO₂ por 100 g de produto); Densidade nutricional = Porcentagem de NNR em 100 g de produto x número de nutrientes \geq 5% da NNR/21. Fonte: Smedman *et al.* (2010).

É provável que a agropecuária seja cada vez mais afetada pelas imposições de limitações nas emissões de carbono e pela legislação ambiental. A tendência ou obrigação legal de mitigar as emissões de GEE influenciará diretamente a necessidade de aumento da eficiência zootécnica nos sistemas pecuários, atrelado ao manejo nutricional dos animais a ser adotado. A melhoria das práticas alimentares pode reduzir a emissão de metano por quilograma de alimento ingerido ou por quilograma de produto (McAllister, 2011). Agentes específicos e aditivos dietéticos têm sido propostos como

alternativas para a redução das emissões de metano. O desenvolvimento de estratégias de mitigação e a viabilidade da aplicação prática dessas estratégias são áreas atuais de pesquisa em todo o mundo (Thornton, 2010).

Metano entérico e perdas energéticas

Com teor energético de 55,22 MJ/kg (Brouwer, 1965), o metano representa significativa perda de energia pelo sistema de produção (Tabela 2).

Tabela 2. Variações típicas nas emissões de metano por três classes de ruminantes, energia perdida como CH₄ e estimativa de dias perdidos de pastejo efetivo anual.

Classe animal	Peso vivo médio (kg)	CH ₄ (kg/cab/dia)	MJ de CH ₄ (perdido/cab/dia) ^a	Exigência de energia diário (MJ/cab/dia) ^b	Dias perdidos de pastejo (efetivo anual) ^c
Ovino adulto	48	10-13	1,5-2,0	13	43-55
Novilho de corte	470	50-90	7,6-13,6	83	33-60
Vaca de leite	550	91-146	13,6-22,1	203	25-40

a Assumindo densidade energética de 55,22 MJ/kg de CH₄ (Brouwer, 1965).

b Standing Committee on Agriculture (1990).

c Dias perdidos de pastejo efetivo anual = (perda de energia/exigência diária) x 365,25

Fonte: Eckard *et al.* (2010).

Aproximadamente, 5,5 a 6,5% da energia bruta ingerida é convertida a metano (Johnson e Ward, 1996). Entretanto, mensurações realizadas em câmaras respirométricas (calorimetria indireta) mostraram grande variação na emissão de metano, de 2 a 12% da energia bruta (EB) ingerida (Johnson e Johnson, 1995). Geralmente, à medida que a digestibilidade da dieta aumenta, ocorre maior variação na produção de metano. Segundo Johnson e Johnson (1995), existem duas causas principais para esta variação na produção de metano: quantidade de carboidratos fermentados no rúmen e proporções relativas de propionato e de acetato produzidos. Embora seja reconhecido que a composição da dieta afeta a contribuição dos ruminantes para a produção de GEE, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, responsável pelo desenvolvimento de metodologias para estimar inventários de emissão global, apenas faz diferenciação entre duas dietas (IPCC, 2006): Dietas com mais 90% de concentrado: taxa de conversão de CH₄ de 3% da EB ingerida e; Dietas com menos de 90% de concentrado: taxa de conversão de CH₄ de 6,5% da EB ingerida. Esse critério pode não estar condizente com as condições observadas nos sistemas de produção de ruminantes instalados no Brasil, onde dificilmente são observados níveis de inclusão de mais de 90% de concentrado na dieta e, talvez a amplitude de 0 a 90% de concentrado seja pouco específica para a maior parte do manejo adotado para o rebanho de ruminantes no país.

Dentre as formas de se expressar a produção de metano entérico, é importante considerar a produção por unidade de produto animal formado (kg de leite, de carne, ou de lã). Com esta forma de expressão, pode ser estabelecido equilíbrio entre a necessidade

de produção de alimento para a crescente população e a emissão de GEE, além de evitar que sistemas de produção eficientes sejam penalizados. Portanto, a redução da produção de metano entérico sem prejudicar a produtividade animal é desejável, tanto como uma estratégia de mitigar a emissão total de GEE, como também de melhorar a eficiência de conversão alimentar dos ruminantes. A eficiência dos sistemas brasileiros é passível de melhorias, ou seja, há ainda potencial para aumentar a quantidade de produto final, mantendo ou reduzindo a emissão de GEE. Conforme estimativas realizadas por Barioni *et al.* (2007), o aumento da taxa de natalidade de bovinos de 55 para 68%, a redução na idade de abate de 36 para 28 meses e a redução na mortalidade até 1 ano de 7% para 4,5%, permitiria que em 2025 as emissões de metano em relação ao equivalente carcaça produzido fossem reduzidas em 18%. Isso seria possível mesmo com o aumento estimado em 25,4% na produção de carne. Ou seja, toda ação que melhore a eficiência do sistema de produção reduz proporcionalmente a emissão de metano, uma vez que mais produto (carne, leite, lã, etc.) será produzido em relação aos recursos utilizados (Guimarães Jr. *et al.*, 2010).

Yan *et al.* (2010) avaliaram dados obtidos em 20 estudos de metabolismo energético, realizados em câmaras respirométricas de fluxo aberto, envolvendo 579 vacas em lactação, com variação no mérito genético, número e fase da lactação e peso vivo. Os autores estudaram as taxas de emissão de metano entérico em relação a variáveis de eficiência de utilização de energia e de produtividade animal. Os resultados indicaram que a perda de energia na forma de CH₄ como proporção da EB ingerida ou da energia do leite, foi negativamente relacionada aos níveis de produção leiteira, metabolizabilidade

da energia (q) e eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação (KI). Portanto, a seleção de vacas leiteiras com elevados níveis de produção e eficiência de utilização de energia representa estratégia eficiente de mitigação.

Estratégias nutricionais de mitigação do metano entérico

O composto de importância crítica para o ecossistema ruminal é o H₂ produzido principalmente durante a fermentação. No rúmen, para que a degradação dos nutrientes da dieta ocorra normalmente, levando à formação de AGVs, é necessário que a pressão de H₂ mantenha-se reduzida, permitindo a re-oxidação do NADH. No rúmen, esse processo ocorre por meio da metanogênese. Desta forma, a manipulação do H₂ no rúmen é a chave para controlar a emissão de metano (Joblin, 1999). De acordo com Martin *et al.* (2009a), as vias metabólicas envolvidas na formação e utilização do H₂, bem como a população metanogênica são importantes fatores que devem ser levados em consideração no desenvolvimento de estratégias para controlar a emissão de metano por ruminantes. Qualquer estratégia adotada deve ter como foco um ou mais dos objetivos listados abaixo: Redução da produção de H₂ sem prejudicar a digestão dos alimentos; Estimulação da utilização do H₂ por meio de vias de produção de produtos alternativos benéficos para o ruminante; Inibição das Archeae metanogênicas (número e/ou atividade), com concomitante estímulo de vias que consomem H₂ para evitar os efeitos negativos do aumento da pressão parcial de H₂ no rúmen.

Sabe-se que o aumento na quantidade de concentrado na dieta reduz a proporção da energia dietética convertida para metano (Blaxter e Clapperton, 1965). Ou seja, a adição de concentrado promove redução da emissão de metano como proporção da energia ingerida ou expressa por unidade de produto animal (leite e/ou carne). A substituição de carboidratos fibrosos (celulose e hemiceluloses) por carboidratos não fibrosos (amido e açúcares) resulta em significativas modificações nas condições físico-químicas do rúmen e população microbiana. O desenvolvimento

de bactérias amilolíticas resulta em mudança na produção de AGVs, promovendo aumento da proporção de propionato e redução de acetato. Conseqüentemente, há queda na produção de metano devido à redução da disponibilidade de H₂ no rúmen. Entretanto, de acordo com Martin *et al.* (2009a), a baixa relação acetato: propionato nem sempre ocorre em animais alimentados com dietas ricas em concentrado. Nessas situações, a redução da emissão de metano pode ser explicada pela queda do pH ruminal e declínio do número de protozoários ciliados. O baixo pH ruminal também pode inibir o crescimento e/ou atividade das metanogênicas e bactérias celulolíticas.

Desta forma, em dietas com elevadas proporções de concentrado, os fatores que induzem a redução da produção de metano são: aumento da produção de propionato, o que reduz a quantidade de H₂ disponível no rúmen; inibição das metanogênicas (Hegarty, 1999), das bactérias celulolíticas (Brossard *et al.*, 2004) e dos protozoários ciliados pela redução do pH ruminal; produção de bacteriocinas por bactérias lácticas, que inibem a atividade das metanogênicas (Rodriguez e Campos, 2007). As perdas de metano mostram-se relativamente constantes para dietas contendo de 30 a 40% de concentrado (6 a 7% da EB ingerida) e então decrescem rapidamente para baixos valores (2 a 3% da EB ingerida) para dietas contendo de 80 a 90% de concentrado (Lovett *et al.*, 2003; Beauchemin and McGinn, 2005; Martin *et al.*, 2008).

Berchielli *et al.* (2003) relataram comportamento quadrático para a produção de metano em bovinos de corte alimentados com diferentes relações volumoso: concentrado. De acordo com os autores, o resultado observado sugere que a adição de concentrado, em baixas quantidades, propiciou condição favorável aos microrganismos, disponibilizando energia para degradação da fração fibrosa no rúmen. No entanto, a partir da adição de 60% de concentrado na dieta, o ambiente ruminal tornou-se prejudicial aos microrganismos responsáveis pela metanogênese, evidenciado pela queda no pH. Primavesi *et al.* (2004) também relataram que a substituição de volumoso por concentrado energético resultou em emissão máxima de metano quando o concentrado

participou em 40% da matéria seca da dieta. A adição de alimentos concentrados energéticos em dietas de ruminantes visando à redução da emissão de metano é uma estratégia que apresenta limitações econômicas e ambientais. As possíveis consequências metabólicas de dietas com elevado teor de carboidratos não fibrosos, como acidose ruminal, queda na porcentagem de gordura do leite e redução da vida produtiva dos animais devem ser levadas em consideração. A viabilidade econômica de sistemas produtivos que utilizam elevada proporção de concentrado nas dietas de ruminantes é questionável em países com clima propício à produção animal em pastagens, como o Brasil. Além disso, as consequências do aumento da densidade energética das dietas devem ser analisadas sob visão sistêmica. A emissão de GEE, como CO₂ e óxido nitroso, provenientes dos processos de produção, colheita e transporte dos grãos pode superar a redução da emissão de metano entérico causada pela inclusão desses alimentos na dieta de ruminantes. Abordagens sobre o fluxo de GEE nos sistemas de produção são encontradas nos trabalhos de Johnson *et al.* (2002b) e Lovett *et al.* (2006).

Além da quantidade de concentrado na dieta, a sua composição também influencia a produção de metano. Lovett *et al.* (2006) avaliaram o efeito da suplementação do pasto com concentrado constituído primariamente de subprodutos fibrosos (32,8% de fibra insolúvel em detergente neutro - FDN), sobre a emissão de metano entérico. Foi observado aumento da produção diária de metano (de 346 para 399 g/vaca/dia) com o incremento na quantidade fornecida de concentrado, devido ao seu alto nível de fibra e baixo teor de amido. Entretanto, é importante destacar que os autores observaram tendência de redução da emissão de metano por kg de leite produzido, já que o uso do concentrado promoveu aumento de produção leiteira das vacas.

A emissão de metano (g/kg de matéria seca ingerida) é influenciada pelo tipo de volumoso que o animal está ingerindo. Animais consumindo leguminosas geralmente emitem menos CH₄ em relação àqueles consumindo gramíneas. De acordo com Benchaar *et al.* (2001), a substituição de feno de capim timóteo (*Phleum pratense*) por alfafa reduziu a emissão de metano em 21% (expresso

como % da energia digestível). McCaughey *et al.* (1999) observaram em bovinos de corte sob pastejo, redução de 10% na produção de metano por unidade de produto, quando a dieta constituída exclusivamente por gramínea foi substituída por outra contendo alfafa e gramínea (70:30). Tal efeito da utilização de leguminosas sobre a emissão de metano é frequentemente explicado pela presença de taninos condensados (Waghorn, 2007), baixo teor de fibra, maior ingestão de matéria seca com conseqüente aumento da taxa de passagem no rúmen (O' Mara *et al.*, 2004).

Existem diferenças significativas na composição de carboidratos das forragens, o que influencia o potencial metanogênico das mesmas. Gramíneas C4 podem produzir mais metano por kg de MS ingerida do que gramíneas de ciclo fotossintético C3 (Archimède *et al.*, 2011; Ulyatt *et al.*, 2002). Corroborando essas informações, Primavesi *et al.* (2004), trabalhando com vacas em lactação, verificaram emissão de 121 a 147 kg de CH₄/animal/ano em condições brasileiras, sendo tais valores superiores aos relatados na América do Norte (118 kg de CH₄/animal/ano para animais de 600 kg de peso corpóreo e lactação de 6.700 kg de leite/ano e ingestão de 2,7% do peso vivo de MS) e no Leste Europeu (100 kg de CH₄/animal/ano para vacas de 550 kg de peso vivo, lactação de 4.200 kg de leite/ano e ingestão de 2,5% do peso vivo de MS) (IPCC 1995; Johnson & Ward, 1996). Os autores atribuíram essa diferença à pior qualidade da forragem tropical em relação à de clima temperado, especialmente pelo maior teor de fibra e menor digestibilidade. Archimède *et al.* (2011) reportaram emissões de metano (L/kg de matéria seca ingerida) 17% superiores para ruminantes alimentados com gramíneas C4 comparado com animais que ingeriram gramíneas C3.

Outro fator determinante para a menor produção de CH₄ por vacas em lactação em pastagens de clima temperado é a utilização de grãos em proporção superior a 50% na dieta, a qual atende às exigências energéticas diárias com menor volume de matéria seca. O percentual de CH₄ produzido a partir da energia bruta ingerida é estimado entre 5,5 e 6,5% na América do Norte e Leste europeu (Estados Unidos, 1990). Primavesi *et al.* (2004) encontraram valores de a 8,3% para vacas da raça

holandesa em lactação, e 10,6% para as mestiças, mantidas em pastagens adubadas de capim-tobiatã (*Panicum maximum* cv. Tobiatã) e braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.), respectivamente.

A implementação de práticas de manejo de pastagens para melhorar sua qualidade aumenta o desempenho animal e a produtividade por unidade de área. Associado ao incremento no desempenho espera-se aumento da emissão de metano, como resultado da maior extensão da fermentação da forragem no rúmen. Entretanto, a quantidade de metano produzido por unidade de produto (leite ou carne) é reduzida se a produção ou crescimento do animal é aumentado.

Robertson e Waghorn (2002) observaram que a produção de metano por vacas leiteiras em pastagem aumentou com o avanço da maturidade da forragem (de 5 para 6,5% da EB ingerida, respectivamente, na primavera e verão). A menor emissão relativa de metano observada para forragens mais jovens pode ser explicada pelos maiores teores de carboidratos solúveis e também de ácido linoleico. Hegarty (2001) analisou o efeito do melhoramento da qualidade nutricional das pastagens na produção de metano por ovinos da raça Merino e verificou que a proporção da energia ingerida perdida como metano diminuiu de 6,6 para 6,0% com o aumento da digestibilidade da forragem consumida, apesar do aumento da produção diária do gás. Assim, a implementação de adequado manejo de pastagem na propriedade aumenta a quantidade e qualidade de alimento disponível para o animal e, portanto, é estratégia adequada de mitigação de metano entérico, aumentando a eficiência de uso da energia bruta da dieta e reduzindo o impacto ambiental da pecuária. O manejo adequado de sistemas de pastejo rotacionados pode aumentar tanto a quantidade como a qualidade da pastagem disponível para os animais. Como resultado, há melhoria da eficiência alimentar, redução da produção de gás metano por hectare, e incremento no desempenho, o que aumenta a rentabilidade do sistema (Chaves *et al.*, 2006).

A suplementação de dietas com lipídeos não protegidos reduz a emissão de metano entérico. São múltiplos os mecanismos de ação dos lipídeos

sobre a metanogênese: redução da matéria orgânica fermentável no rúmen, já que os lipídeos não são fonte de energia para as bactérias ruminais; redução da atividade das metanogênicas pela presença de ácidos graxos de cadeia média (Machmuller *et al.*, 2003); efeito tóxico sobre bactérias celulolíticas (Nagajara *et al.*, 1997) e protozoários (Doreau e Ferlay, 1995) exercido por ácidos graxos poli-insaturados; Biohidrogenação dos ácidos graxos poli-insaturados (Johnson e Johnson, 1995). O efeito tóxico de ácidos graxos de cadeia longa ocorre por meio da ação sobre a membrana celular, particularmente de bactérias gram-positivas. O ácido linoleico é tóxico para bactérias celulolíticas (*F. succinogenes*, *R. albus* e *R. flavefasciens*), por afetar a integridade celular, e para fungos *Neocallimastix frontalis* cultivados in vitro (Maia *et al.*, 2007). Tais mudanças na população microbiana ruminal favorecem a formação de propionato, aumentando a captação de H₂ nesse processo. Embora a biohidrogenação dos ácidos graxos poli-insaturados resulte em captura de H₂, sua influência sobre a metanogênese é baixa, já que a completa hidrogenação de 1 mol de ácido linoléico previne a formação de apenas 0,75 mol de CH₄ (Martin *et al.*, 2009a). A utilização de hidrogênio metabólico no processo de biohidrogenação de ácidos graxos insaturados é pequena (1%) se comparada àquelas inerentes à redução do CO₂ (48%), à síntese de AGVs (33%) e à síntese de células bacterianas (12%) (Czerkawski, 1986). A efetividade da adição de lipídeos para reduzir emissões de metano depende de vários fatores, incluindo nível de suplementação, a fonte de lipídeo utilizada, a forma de fornecimento (óleo refinado ou sementes de oleaginosas, por exemplo) e o tipo de dieta (Beauchemin *et al.*, 2008). Embora reduções de metano maiores que 40% sejam possíveis com elevados níveis de adição de lipídeos (Machmuller e Kreuzer, 1999; Jordan *et al.*, 2006b), na prática, reduções entre 10 e 25% são as mais prováveis (Beauchemin *et al.*, 2008). Recomenda-se que a adição de lipídeo total não ultrapasse 6 a 7% da matéria seca dietética para evitar depressão do CMS. A ação múltipla da suplementação lipídica sobre o número e atividade dos microrganismos ruminais pode prejudicar o processo de digestão se o efeito tóxico sobre as metanogênicas provocar acúmulo de H₂ no rúmen.

Beauchemin *et al.* (2008), revisando 17 estudos com bovinos e ovinos, estabeleceram relação entre o nível de lipídeo adicionado (% do CMS) e a emissão de metano (g/kg de MS consumida) para diferentes fontes dietéticas de gorduras e óleos. Foi relatada redução de 5,6% na produção de metano para cada 1% de adição de lipídeo. Os autores encontraram considerável variação entre as fontes de lipídeos no efeito sobre a metanogênese. Observou-se queda acentuada na produção de metano (g/kg de MS consumida) em alguns estudos com óleo de coco (63,8% de redução com adição de 7% de gordura; Machmuller e Kreuzer, 1999) e com ácido mirístico (58,3% de redução com 5% de adição de lipídeo; Machmuller *et al.*, 2003). Martin *et al.* (2009a) também sumarizaram dados de estudos *in vivo* (67 dietas suplementadas com lipídeos, oriundas 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 média de 3,8% na emissão de metano (g/kg de MS ingerida) para cada 1% de gordura adicionada na dieta (% do CMS). Diante do exposto, é evidente que os efeitos dos ácidos graxos sobre a metanogênese ruminal são amplamente dependentes da sua natureza. 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 particularmente mais depressivos sobre a emissão de metano, principalmente em dietas ricas em concentrado e com baixos níveis de Ca (Machmuller *et al.*, 2003). De acordo com Dohme *et al.* (2001), os ácidos láurico (C 12:0) e mirístico (C 14:0) fornecidos sozinhos apresentam efeitos similares, mas a combinação desses dois ácidos graxos provoca efeito sinérgico, levando à queda acentuada na emissão de metano (Soliva *et al.*, 2004). Grainger *et al.* (2010b) avaliaram os efeitos da suplementação de dietas de vacas leiteiras com caroço de algodão por 12 semanas, sobre a metanogênese, pela técnica do gás traçador SF₆. Os autores observaram redução persistente na emissão de metano (3,5 g de CH₄/kg de MS ingerida, em média) ao longo de 12 semanas 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.

Outra estratégia de mitigação de metano entérico é a utilização de aditivos. A manipulação do ecossistema ruminal é ferramenta bastante utilizada por nutricionistas, visando aumentar a conversão alimentar e o desempenho dos animais. No passado, as pesquisas focaram o uso de antimicrobianos como, por exemplo, a monensina. Entretanto, a crescente pressão da sociedade contra a utilização desse tipo de aditivo na alimentação animal tem incentivado a busca por métodos alternativos para manipulação do ambiente ruminal. Os efeitos anti-metanogênicos dos ionóforos estão mais relacionados com a inibição da formação dos precursores (formato e H₂) do metano do que um efeito direto sobre a população de metanogênicas, uma vez que essas são mais resistentes aos ionóforos do que as bactérias que produzem e fornecem H₂. A redução dos precursores de metano seria responsável por apenas 45% do efeito dos ionóforos sobre a produção de metano, sendo o restante consequência da menor ingestão de alimentos (Nagaraja *et al.*, 1997). A diminuição da produção de metano observada na presença de ionóforos também pode estar associada à inibição no crescimento de protozoários ciliados que, conhecidamente produzem H₂ e são colonizados por metanogênicas (McAllister *et al.*, 1996). Grainger *et al.* (2010a) avaliaram o uso de dose elevada de monensina (471 mg/dia) em vacas alimentadas com pasto de azevém suplementado com 4 kg/dia de grãos de cevada. A emissão de metano foi estimada nos animais em pastejo pela técnica do gás traçador SF₆ e também em câmaras respirométricas. Em ambas condições, a adição de monensina não aumentou a produção de leite e não promoveu efeito sobre a emissão de metano entérico (g/dia, g/kg de leite e g/kg de MS ingerida). Os autores concluíram que a monensina não representa estratégia de mitigação viável para vacas leiteiras em pastagem suplementadas com concentrado.

Os possíveis efeitos transitórios dos ionóforos, associado com a crescente pressão para reduzir o uso de antimicrobianos na produção animal, sugerem que essa estratégia de mitigação da emissão de metano entérico por ruminantes não representa uma solução de longo prazo. Há

crescente interesse na utilização de compostos secundários de plantas como estratégia de mitigação do metano, por representar alternativa natural à utilização de aditivos químicos. Várias plantas contêm compostos secundários que as protegem do ataque de fungos, bactérias, insetos e herbívoros. O efeito dessas moléculas sobre a metanogênese ruminal é altamente variável. A maioria dos trabalhos aborda o uso de taninos, saponinas e óleos essenciais. Quando elevados níveis dessas substâncias são ingeridos podem ocorrer efeitos adversos sobre o desempenho e saúde do animal, mas, em baixas concentrações, são capazes de melhorar o processo fermentativo no rúmen (Morais *et al.*, 2006; Beauchemin *et al.*, 2008).

Os taninos são substâncias polifenólicas com variados pesos moleculares e complexidade, sendo classificados em hidrolisáveis e condensados. A atividade antimetanogênica dos taninos presentes nas plantas tem sido atribuída, principalmente, ao grupo de taninos condensados. Vacas leiteiras apresentaram menor emissão de metano (26,9 g/kg de MS ingerida e 378 g/kg de sólidos do leite) quando alimentadas com *Lotus corniculatus* do que quando receberam silagem de azevém (35,23 g de CH₄/kg de MS ingerida e 434 g de CH₄/kg de sólidos do leite) (Woodward *et al.*, 2001). Oliveira *et al.* (2007), avaliando o efeito de dietas contendo silagens de sorgo com baixo e alto teor de taninos, fornecidas para bovinos de corte, não observaram efeito desses compostos sobre a metanogênese.

Saponinas são glicosídeos encontrados em muitas plantas, como *Brachiaria decumbens* e *Medicago sativa* (alfafa) e apresentam efeito direto sobre os microrganismos ruminais. As saponinas reduzem a degradação de proteínas e, ao mesmo tempo, favorecem a síntese de proteína e biomassa microbiana, dois processos que resultam em menor disponibilidade de H₂ para a metanogênese (Martin *et al.*, 2009a). Mas o principal mecanismo de ação antimetanogênica das saponinas está relacionado ao efeito tóxico sobre protozoários ciliados. As saponinas emulsificam os lipídeos da membrana celular dos protozoários, causando mudanças na sua permeabilidade, e morte da célula (Wallace *et al.*, 2002). Hess *et al.* (2004) observaram decréscimo de 54% na contagem de protozoários e redução de 20% na produção *in vitro* de metano utilizando

elevadas doses de saponinas (12 mg/g de MS). Guo *et al.* (2008) observaram redução na metanogênese (8%) e no número de protozoários (50%) com o uso de saponinas *in vitro*. Os autores relataram redução na atividade das metanogênicas (76%), mensurada por meio da expressão do gene *mcrA*, sem que o número de metanogênicas fosse afetado.

Óleos essenciais são metabólitos secundários, são responsáveis pelo odor e cor de algumas plantas. As pesquisas conduzidas até o momento indicam a possibilidade da utilização de óleos essenciais para manipulação da fermentação ruminal. Muitas moléculas biologicamente ativas presentes nos óleos essenciais apresentam propriedades antimicrobianas, atuando sobre bactérias Gram-positivas e Gram-negativas. Entre os óleos essenciais estudados, destaca-se o extraído do alho (*Allium sativa*) por vaporização e destilação, apresentando efeito sobre a metanogênese *in vitro*. Busquet *et al.* (2005) avaliaram os efeitos do óleo essencial obtido do alho e de quatro de seus componentes (diallyl sulfeto, diallyl disulfeto, allyl mercaptan e allicin) sobre a fermentação ruminal *in vitro*. A produção de metano após 17 h de fermentação foi significativamente reduzida pelo óleo essencial de alho, allyl mercaptan e diallyl disulfeto. McAllister *et al.* (2008) estudaram um produto de allicin disponível no mercado. Nos níveis de inclusão de 0; 2 e 20 µg/mL, o allicin não afetou a produção diária de AGVs e de nitrogênio amoniacal (N-NH₃). Entretanto, em concentração de 20 µg/mL, a produção de metano foi significativamente reduzida, o que está relacionado à redução da população de metanogênicas em relação à população bacteriana total, avaliada por PCR.

Watabane *et al.* (2010) avaliaram o uso de líquido da casca da castanha de caju (CNSL), um coproduto da produção de castanha de caju em países tropicais, que apresenta várias aplicações industriais. O CNSL apresenta compostos fenólicos, destacando-se o ácido anacárdico, que inibe seletivamente bactérias Gram-positivas. Os autores realizaram uma série de experimentos *in vitro* utilizando dietas ricas em concentrado (V:C; 30:70), para avaliar os efeitos de diferentes doses de CNSL cru e termicamente processado. Os resultados obtidos indicam que o CNSL cru pode ser uma alternativa de manipulação ruminal, aumentando a produção de propionato e reduzindo a emissão de metano.

O uso do nitrato como alternativa de utilização do H₂ tem sido mal visto devido aos possíveis efeitos tóxicos do nitrito, composto intermediário formado na redução do nitrato a amônia. A redução de nitrato a nitrito ($\Delta GT = -130$ kJ/mol de H₂) e subsequente redução do nitrito a amônia ($\Delta GT = -124$ kJ/mol de H₂) libera mais energia do que a redução do CO₂ a CH₄ ($\Delta GT = -16,9$ kJ/mol de H₂) (Ungerfeld e Kohn, 2006). Esse processo poderia ser a principal rota de eliminação do H₂ se suficiente quantidade de nitrato estivesse disponível no ecossistema ruminal ativo. A redução de nitrato a amônia consome oito elétrons e cada mol de nitrato reduzido, podendo então diminuir a produção de metano em 1 mol. A amônia produzida estaria disponível para processos anabólicos e seria importante fonte de N fermentável em dietas deficientes em proteína bruta, nas quais as baixas concentrações de amônia ruminal limitam a síntese de proteína microbiana (Van Zijderveld *et al.*, 2010). Em animais não adaptados ao uso de nitrato na dieta, a capacidade dos microrganismos ruminais reduzirem nitrato a nitrito excede a capacidade de redução do nitrito. Esse composto é então absorvido pelo epitélio ruminal e converte a hemoglobina sanguínea da forma ferrosa (Fe²⁺) para a férrica (Fe³⁺), tornando a molécula incapaz de transportar O₂ para os tecidos (metahemoglobinemia). A condição resultante é um estado geral de anoxia, que pode reduzir o desempenho animal e, nos casos mais severos, ser fatal (Ozmen *et al.*, 2005). A suplementação com enxofre ou cisteína pode reduzir o acúmulo de nitrito no rúmen. O sulfato também é redutor ($\Delta GT = -21,1$ kJ/mol de H₂) e também competirá por elétrons, podendo reduzir a produção de metano (Ungerfeld e Kohn, 2006).

Van Zijderveld *et al.* (2010) avaliaram os efeitos da adição de nitrato e/ou de sulfato na dieta de ovinos (2,6% da matéria seca) sobre a emissão de metano, em câmaras respirométricas. A produção de metano foi reduzida com o uso dos suplementos (nitrato: -32%; sulfato: -16%; nitrato + sulfato: -47%). A redução na emissão de metano devido ao uso de nitrato foi mais pronunciada no período imediatamente após a alimentação, enquanto que a redução na metanogênese devido ao sulfato foi observada durante todo o dia. Os autores concluíram que, quando fornecidos de forma segura, os sais

de nitrato e de sulfato são agentes potentes de mitigação de metano entérico.

No Brasil, a maior parte das emissões de metano de origem entérica é proveniente de bovinos criados extensivamente (Lima, 2002) em pastagens que, em grande proporção, encontram-se degradadas. Esse cenário gera ineficiência ao processo produtivo, ocasionando maiores emissões de metano por unidade de produto de origem animal produzido (Guimarães Jr. *et al.*, 2010). Dentre as alternativas para mitigação de GEE pela pecuária destacam-se a melhoria da qualidade nutricional da dieta, pela utilização de forragens de melhor valor nutritivo, associadas ao manejo adequado da pastagem (DeRamus *et al.*, 2003; Lassey, 2007). O investimento na recuperação de pastagens degradadas seria outra estratégia mitigadora de impacto. De acordo com o relatório da FAO (2006), as pastagens (nativas e cultivadas) representam a segunda maior fonte potencial global de sequestro de carbono (C), com capacidade de drenar da atmosfera 1,7 bilhão de toneladas por ano, ficando atrás somente das florestas, cuja capacidade estimada chega a 2 bilhões de t de C por ano. O uso de práticas de manejo adequadas em pastagens, sobretudo de reposição da fertilidade do solo, possibilita o acúmulo de C no solo a uma taxa de 0,3 t de C/ha/ano (IPCC, 2000), o que corresponde, aproximadamente, à mitigação de 1,1 t de CO₂-equivalente/ha/ano. Esse valor, bastante conservador, seria suficiente para anular cerca de 80% da emissão anual de metano de um bovino de corte adulto, estimada em 57 kg (IPCC, 1996), que equivale a 1,42 t de CO₂ (57 kg de CH₄/ano x 25 potencial de aquecimento global do gás = 1,42 t de CO₂-Eq). Portanto, pastagens produtivas e manejadas adequadamente, além de propiciarem condições favoráveis para aumentos significativos no desempenho animal e índices zootécnicos, também podem absorver grande parte do carbono emitido pela atividade pecuária, tornando-se componente importante no balanço de GEE (Guimarães Jr. *et al.*, 2010).

Áreas de pastagens bem manejadas podem ser importantes sítios de acúmulo de carbono no solo. Ao mesmo tempo, essas pastagens podem suportar taxas de lotação de bovinos de 1 a 3 UA/ha, com produtividade entre 300 e 1.000 kg de ganho de peso/ha/ano, de forma sustentável. A recuperação de

pastagens degradadas é uma opção que não somente permite a retomada da produtividade animal, mas também mantém a integridade química e física do solo, com o simultâneo aumento dos estoques de carbono no solo.

Atualmente, a integração lavoura-pecuária (iLP) tem sido reconhecida como alternativa para redução das emissões de GEE pela agropecuária. O governo brasileiro incorporou a iLP na sua proposta apresentada na 15ª Reunião da Conferência das Partes (COP 15), do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, como uma das atividades mitigadoras nacionalmente aplicáveis (NAMAs) para redução de suas emissões de GEE. O governo se comprometeu a implantar essa tecnologia em 4 milhões de hectares, com impacto esperado de redução da ordem de 18 a 22 milhões de toneladas de CO₂Eq até o ano de 2020. Além disso, faz parte da proposta, recuperar 15 milhões de ha de áreas de pastagens degradadas, o que reduziria de 83 a 104 milhões de toneladas de CO₂Eq. Portanto, espera-se que nos próximos anos seja crescente o incentivo à adoção da iLP no país por meio de políticas públicas de crédito e de fomento.

Considerações finais

A emissão de metano por ruminantes é consequência dos processos fermentativos gastrintestinais, que garantem a estes animais a habilidade de transformar alimentos grosseiros, ricos em celulose, em alimentos (leite e carne) e produtos fundamentais para a evolução e desenvolvimento da humanidade.

O levantamento do potencial de emissão de metano pelos diferentes sistemas agropecuários, bem como a avaliação de estratégias de mitigação, deve ser realizado sob visão holística, levando-se em consideração a dinâmica e o balanço de carbono em todo o sistema de produção. Existem diversas estratégias nutricionais para mitigação de metano entérico sendo estudadas e desenvolvidas. Todas apresentam diferentes viabilidades, custos e possibilidades de aceitação pelos produtores. A escolha de qual ou quais adotar deve ser baseada na capacidade de redução das emissões, associada à

viabilidade econômica de adoção e manutenção ou melhoria do desempenho animal.

O incremento nos índices zootécnicos, passíveis de serem atingidos com melhorias nos sistemas de produção (principalmente os relacionados ao uso eficiente das pastagens), associado às boas práticas de manejo nutricional, sanitário e reprodutivo, são estratégias importantes para a consolidação do Brasil como produtor de alimento para o mundo, respeitando as demandas relacionadas ao uso da terra e da água, à conservação da biodiversidade e à emissão de GEE.

Referências

- Archimède H, Eugène M, Marie Magdeleine C, Boval M, Martin C, Morgavi DP, Lecomte P, Doreau M. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Anim Feed Sci Tech* 2011; 166-167:59-64.
- Barioni, LG, de Lima MA; Zen S, Guimarães Júnior R, Ferreira AC. Abaseline projection of methane emissions by the Brazilian beef sector: preliminary results. In: Greenhouse gases and animal agriculture Conference, 2007, Christchurch, New Zealand. *Proceedings...* Christchurch: [s.n.], 2007.
- Bell MJ, Wall E, Simm G, Russel G. Effects of genetic line and feeding system on methane from dairy systems. *Anim Feed Sci Tech* 2011; 166-167:699-707.
- Benchaar C, Pomar C and Chiquette J. Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: a modelling approach. *Can J Anim Sci* 2001; 81:563-574.
- Berchielli TT, Pedreira MS, Oliveira SG, Primavesi O, Lima M, Frigueto RTS. Determinação da produção de metano e pH ruminal em bovinos de corte alimentados com diferentes relações volumoso: concentrado. Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 40, 2003. Santa Maria. *Anais...* Santa Maria, SBZ, 2003, CD-ROM.
- Beauchemin KA, Kreuzer M, O'Mara F, McAllister TA. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Aust J Exp Agr* 2008; 48: 21-27.
- Beauchemin KA, McGinn SM. Methane emissions from feedlot cattle fed barley or corn diets. *J Anim Sci* 2005; 83:653-661.
- Blaxter KL, Clapperton JL. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *Brit J Nutr* 1965; 19:511-522.
- Brouwer E. Report of subcommittee on constants and factors. In: Blaxter, KL Editor. *Proceedings of the 3rd Symposium on energy Metabolism*. London: Academic Press, 1965. pp. 441-443.
- Busquet M, Calsamiglia S, Ferret A, Carro MD, Kamel C. Effect of garlic oil and four of its compounds on rumen microbial fermentation. *J Dairy Sci* 2005; 88:4393-4404.

- Chaves AV, Thompson LC, Iwaasa AD.. Effect of pasture type (alfafa vs. grass) on methane and carbon dioxide production by yearling beef heifers. *Can J Anim Sci* 2006; 86:409-418.
- Cotton WR, Pielke RA. Human impacts on weather and climate. Cambridge: Cambridge University, 1995, 288p.
- Czerkawski JW. Methane production in ruminants and its significance. *World Rev Nutr Diet* 1969; 11:240-282.
- Czerkawski JW. Degradation of solid feeds in the rumen: spatial distribution of microbial activities and its consequences. In: Milligan LP, Grovum WL, Dobson A. Editors. Control of digestion and Metabolism in ruminants. Prentice-Hall: Englewood USA, 1986. pp. 158-172.
- DeRamus HA, Clement TC, Giampola DD, Dickson PC. Methane emissions of beef cattle on forrages: efficiency of grazing management systems. *J Environ Qual* 2003; 32:269-277.
- Dohme F, Machmüller A, Wasserfallen A, Kreuzer M. Ruminal methanogenesis as influenced by individual fatty acids supplemented to complete ruminant diets. *Lett Appl Microbiol* 2001; 32:47-51.
- Doreau M, Ferlay A. Effect of dietary lipids on nitrogen metabolism in the rumen: a review. *Livest Prod Sci* 1995; 43:97-110.
- Eckard RJ, Grainger C, Klein CAM. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livest Sci* 2010; 130:47-56.
- United States of America. Environmental Protection Agency. Greenhouse gas emissions from agricultural systems. In: Workshop on greenhouse gas emissions from agriculture, 1989, Washington. Proceedings. Washington: United States Environmental Protection Agency, 1990. 1:VII3-VII22. Summary report.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO statistical databases. Rome, 2006. [Acesso em 4 de junho de 2010] URL: <http://faostat.fao.org>
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO statistical databases. Rome, 2006. [Acesso em 06 de março de 2012] URL: <http://faostat.fao.org>
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of Food and Agriculture. Livestock in the balance, Roma: FAO, 2009. 166p. URL: <http://www.fao.org/docrep/012/i0680e/i0680e.pdf>. 2010
- Grainger C, Clarke T, McGinn SM, Auldish MJ, Beauchemin KA, Hannah MC, Waghorn GC, Clark H, Eckard RJ.. Methane emissions from dairy cows measured using the sulfur hexafluoride (SF₆) tracer and chamber techniques. *J Dairy Sci* 2007; 90: 27455-2766.
- Grainger C, Williams R, Eckard RJ, Hannah MC. A high dose of monensina does not reduce methane emissions of dairy cows offered pasture supplemented with grain. *J Dairy Sci* 2010a; 93:5300-5308.
- Grainger C, Williams R, Clarke T, Wright AD, Eckard RJ . Supplementation with whole cottonseed causes long-term reduction of methane emissions from lactating dairy cows offered a forage and cereal grain diet. *J Dairy Sci* 2010b; 93:2612-2619.
- Guimarães Júnior R, Marchao RL, Vilela L, Pereira LGR. Produção animal na integração lavoura-pecuária. In: Simpósio Mineiro de Nutrição de Gado de Leite, 5., 2010, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFMG, 2010. p. 111-123.
- Guo YQ, Liu JX, Lu Y, Zhu WY, Denman SE, McSweeney CS. Effect of tea saponin on methanogenesis, microbial community structure and expression of mcrA gene, in cultures of rumen micro-organisms. *Lett Appl Microbiol* 2008; 47:421-426.
- Hegarty RS. Reducing rumen methane emissions through elimination of rumen protozoa. *Aust J Agr Res* 1999; 50:1321-1327.
- Hegarty R. *Greenhouse* gas emissions from the Australian livestock sector what do we know, what can we do? Canberra, NSW Agriculture Australian Greenhouse Office, 2001. 35p.
- Hess HD, Beuret RA, Lotscher M, Hindrichsen IK, Machmuller A, Carulla JE, Lascano CE, Kreuzer M. Ruminal fermentation, methanogenesis and nitrogen utilization of sheep receiving tropical grass hay-concentrate diets offered with Sapiindus saponaria fruits and Cratylia argentea foliage. *Anim Sci* 2004; 79:177-189.
- Holter JB, Young AJ. Methane prediction in dry and lactating Holstein cows. *J Dairy Sci* 1992; 75:2165-2175.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2006. Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 777p. [Acesso em 05 fev, 2010]. URL: <http://www.ibge.gov.br/home/default.php>
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 1994: radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios. Cambridge: University Press, 1995. 339p.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Emissions from livestock and manure management. In: Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tabane K. Editors. IPCC Guidelines for nacional greenhouse gas inventories. Hayama: IGES, 2006. 10:747-846.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report (AR4): Mitigation of Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. [Acesso em 30 nov, 2010]. URL: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/contents.html
- Joblin KN. Ruminal acetogens and their potential to lower ruminant methane emissions. *Aust J Agric Res* 1999; 50:1321-1327.
- Johnson DE, Phetteplace HW, Seidl AF.. Methane, nitrous oxide and carbon dioxide emissions from ruminant livestock production systems. In: Takahashi J, Young BA editors. Greenhouse gases and animal agriculture. Amsterdam: Elsevier; 2002b. p. 77-85.

- Johnson KA, Johnson DE. Methane Emissions from Cattle. *J Anim Sci* 1995; 73:2483-2492.
- Johnson DE, Ward GM. Estimates of animal methane emissions. *Environ Monit Assess* 1996; 42:133-141.
- Jordan E, Lovett DK, Monahan FJ, Callan J, Flynn B, O'Mara FP. Effect of refined coconut oil or copra meal on methane output and on intake and performance of beef heifers. *J Anim Sci* 2006b; 84:162-170.
- Lassey KR. Livestock methane emission: From the individual grazing animal through national inventories to the global methane cycle. *Agr Forest Meteorol* 2007; 142:120-132.
- Lima MA. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. *Cad Ciên Tecnol* 2002; 19:451-472.
- Lima MA, Pessoa AMCPY, Ligo MAV. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Relatórios de referência: Emissões de metano da pecuária. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006. 77p.
- Lovett DK, Shalloo L, Dillon P, O'Mara FP. A systems approach to quantify greenhouse gas fluxes from pastoral dairy production as affected by management regime. *Agr Syst* 2006; 88:156-179.
- Machmuller A, Kreuzer M. Methane suppression by coconut oil and associated effects on nutrient and energy balance in sheep. *Can J Anim Sci* 1999; 79:65-72.
- Machmuller A, Soliva CR, Kreuzer M. Methane-suppressing effect of myristic acid in sheep as affected by dietary calcium and forage proportion. *Brit J Nutr* 2003; 90:529-540.
- McAllister TA, Newbold CJ. Redirecting rumen methane to reduce methanogenesis. *Aust J Exp Agric* 2008; 48:7-13.
- McAllister TA. Greenhouse gases in animal agriculture - Finding a balance between food production and emissions. *Anim Feed Sci Tech* 2011; 166-167:1-6.
- McAllister TA, Okine EK, Mathison GW, Cheng KJ. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Can J Anim Sci* 1996; 76:231-243.
- McCaughy WP, Wittenberg K, Corrigan D. Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Can J Anim Sci* 1999; 79:221-226.
- MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Informações Gerais e Valores Preliminares, 2009. [Acesso em 18 fev, 2010]. URL: <http://www.mct.gov.br>
- Morais JAS, Berchielli TT, Reis RA. Aditivos. In: Berchielli TT, Pires AV, Oliveira SG. Nutrição de ruminantes. Jaboticabal: FUNEP; 2006. p.111-140.
- Murray RM, Bryant AM, Leng RA. Rates of production of methane in the rumen and large intestines of sheep. *Br J Nutr* 1976; 36:1-14.
- Nagaraja TG, Newbold CJ, Van Nevel CJ, Demeyer DI. Manipulation of ruminal fermentation. In: Hobson PN, Stewart CS. The rumen microbial ecosystem, editors. London: Blackie Academic & Professional; 1997. p. 523-632.
- Oliveira SG, Berchielli TT, Pedreira MS, Primavesi O, Frighetto R, Lima MA. Effect of tannin levels in sorghum silage and concentrate supplementation on apparent digestibility and methane emission in beef cattle. *Anim Feed Sci Tech* 2007; 135:236-248.
- O'Mara, F. Greenhouse Gas Production from Dairying: Reducing Methane Production. *Adv in Dairy Tech* 2004; 16:295-309.
- Ozmen OF, Sahinduran S, Unsal A. Pathological and toxicological investigations of chronic nitrate poisoning in cattle. *Toxicol Environ Chem* 2005;87:99-106.
- Primavesi O, Pedreira M, Frighetto R, Lima MA, Berchielli TT, Oliveira SG, Rodrigues ADA, Barbosa PF. Manejo alimentar de bovinos leiteiros e sua relação com produção de metano ruminal. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004. p 21.
- Robertson LJ, Waghorn GC. Dairy industry perspectives on methane emissions and production from cattle fed pasture or total mixed rations in New Zealand. *Proc New Zeal SOC An* 2002; 62:213-218.
- Rodriguez NM, Campos WE. Manipulação ruminal para redução da emissão de metano. In: Simpósio Nacional sobre Produção Animal e Ambiente, 1, 2007, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007, p. 1-28.
- Smedman A, Månsson-Lindmark H, Drewnowski A, Edman AM. Nutrient density of beverages in relation to climate impact. *2010 Food Nutr Res*; 54:5170-577.
- Soliva CR, Meile L, Cieslak A, Kreuzer M, Machmuller A. 2004. Rumen simulation technique study on the interactions of dietary lauric and myristic acid supplementation in suppressing ruminal methanogenesis. *Brit J Nutr*; 92:689-700.
- Thorpe A. Enteric fermentation and ruminant eructation: the role (and control?) of methane in the climate change debate. *Climatic change* 2009; 93:407431.
- Thornton PK. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philos T R* 2010; 365:2853-2867.
- Ulyatt MJ, Lassey KR, Shelton ID, Walker CF. Methane emission from dairy cows and wether sheep fed subtropical grass-dominant pastures in midsummer in New Zeal. *J Agr Res* 2002; 45:227-234.
- Ungerfeld EM, Kohn RA. The role of thermodynamics in control of ruminal fermentation. In: Sejrsen K, Hvelplund T, Nielsen MO, editors. Ruminant Physiology Digestion, Metabolism and Impact of Nutrition on Gene Expression, Immunology and stress. Wageningen The Netherlands: Wageningen Academic Publishers; 2006. p. 55-85.
- Ungerfeld E M, Kohm. The role of thermodynamics in the control of ruminal fermentation. In: Sejrsen K, Hvelplund T, Nielsen MO, editors. Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism and Impact of Nutrition on Gene Expression,

Immunology and Stress. Wageningen: Academic Publishers, 2006. p. 55-85.

United States Environmental Protection Agency - USEPA. Evaluating Ruminant Livestock Efficiency Projects and Programs In: PEER REVIEW DRAFT. Washington, D.C; 2000. 48p.

USDA. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service (FAS). Market and Trade Data: trade reports archives. [Acesso em: 18 fev. 2010] URL: http://www.fas.usda.gov/livestock_arc.asp

Van Zijderveld SM, Gerrits WJJ, Apajalahti JÁ, Newbold JR, Dijkstra J, Leng RA, Perdok HB. Nitrate and sulfate: Effective alternative hydrogen sinks for mitigation of ruminal methane production in sheep. *J Dairy Sci* 2010; 93:5856-5866.

Wallace RJ, Czerkawski JW, Breckenridge G. Effect of monensin on the fermentation of basal rations in the simulation technique (Rusitec). *Brit J Nutr* 2002; 114:101.

Waghorn GC. Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production: progress and challenges. *Anim Feed Sci Tech* 2007; 147:116-139.

Watanabe Y, Suzuki R, Koike K, Nagashima K, Mochizuki M, Forster RJ, Kobayashi Y. In vitro evaluation of cashew nut shell liquid as a methane-inhibiting and propionate-enhancing agent of ruminants. *J Dairy Sci* 2010; 93:5258-5267.

Woodward SL, Waghorn GC, Ulyatt MJ, Lassey KR. Early indications that feeding *Lotus* will reduce methane emissions from ruminants. *Proc New Zeal Soc An* 2001; 61:23.

Wuebbles DJ, Hayhoe K. Atmospheric methane and global change. *Earth-Sci Rev* 2002; 57:177-210.

Yan T, Mayne CS, Gordon FG. Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2010; 93:2630-2638.