



AVANÇOS CONCEITUAIS E ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE METANO ENTÉRICO POR RUMINANTES EM CONDIÇÕES TROPICAIS

Luiz Gustavo Ribeiro Pereira¹, Fernanda Samarini Machado¹, Fernando César Ferraz Lopes¹, Jailton da Costa Carneiro¹, Roberto Guimarães Júnior²

¹ Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora/MG, Brasil.

² Embrapa Cerrados, Planaltina/DF, Brasil.

INTRODUÇÃO

A agropecuária mundial tem enfrentado situações desafiadoras. Ao mesmo tempo em que a demanda por alimentos vem aumentando sistematicamente (FAO, 2009), questões ambientais relacionadas ao uso da terra e da água, à conservação da biodiversidade e à emissão de gases de efeito estufa (GEE) pressionam o setor para se tornar mais eficiente na exploração dos recursos naturais. Essas questões têm estimulado, cada vez mais, a busca por tecnologias que permitam conciliar uso racional dos meios de produção com produção de alimentos de maneira sustentável.

O crescimento da população mundial e do seu poder aquisitivo tem promovido aumento acentuado da demanda por alimentos de origem animal. A produção mundial de carne está projetada para aumentar de 229 milhões de toneladas em 1999-2001 para 465 milhões de toneladas em 2050, e a produção de leite de 580 milhões de toneladas para 1.043 milhões de toneladas nesse mesmo período (FAO, 2006).

No contexto da produção pecuária, o Brasil ocupa posição de destaque no mundo. 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 6º maior produtor de leite (FAO, 2010). Isso demonstra sua importância na produção e fornecimento de proteína animal para a população mundial. Por outro lado, a pecuária brasileira, em



especial, vem sendo criticada por emitir quantidades significativas de GEE, contribuindo de modo negativo para as mudanças climáticas globais. Essa 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 pecuária tem gerado como consequência, maiores quantidades de GEE por quilo de carne e de leite produzidos (IPCC, 2007).

No mundo, a Índia e o Brasil (14,5 e 10,3 Tg de CH₄/ano, respectivamente) lideram o ranking de emissão de metano entérico (Thorpe, 2009). Quando é considerada apenas a emissão por bovinos, o Brasil (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), é apontado como o maior emissor (Thorpe, 2009). No Brasil, 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. Na pecuária, o gás metano (CH₄), formado a partir da fermentação entérica dos carboidratos, é o principal responsável pelas emissões no setor.

A mídia tem abordado o assunto rotulando os bovinos como grandes vilões. Na maioria das vezes, estas críticas são infundadas tecnicamente, já que pesquisas (Grainger et al., 2007) têm apontado a necessidade do desenvolvimento de metodologias acuradas e da geração de 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 (Lima et al., 2006). A exploração equivocada da mídia sobre o assunto pode ser um pretexto a ser explorado por terceiros, para a criação de barreiras não-tarifárias à exportação da carne e do leite brasileiro.

Nesse contexto, ações de Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação apresentam papel relevante no desenvolvimento de estratégias para atender à demanda mundial de alimentos de forma ambientalmente responsável. O objetivo deste trabalho é discutir assuntos relacionadas aos avanços



conceituais e estratégias de mitigação de emissões de metano entérico por ruminantes.

GASES DE EFEITO ESTUFA NA PECUÁRIA

Atualmente, o aquecimento global tem sido o foco de preocupação da sociedade política e científica, devido ao impacto negativo sobre a biodiversidade e economia do planeta. Dentre os vários GEE, a agropecuária contribui de forma significativa com a emissão de três deles: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (NO).

O gás metano apresenta potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o CO_2 e tempo de vida na atmosfera de 9 a 15 anos, sendo sua taxa de crescimento anual de 7,0% (IPCC, 2006). O metano é resultado da fermentação anaeróbica da matéria orgânica em ambientes alagados, campos de arroz inundados, fermentação entérica, tratamento anaeróbico de resíduos animais e queima de biomassa. Entre as fontes antrópicas de emissão de metano, a produção desse gás por fermentação entérica dos ruminantes contribui com 22% da produção mundial, representando 3,3% do total dos GEE (USEPA, 2000).

O metano, além de ser caracterizado como importante GEE (15% do aquecimento global), 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). O conhecimento dos mecanismos de síntese de metano, assim como os fatores que afetam sua produção é importante. O desafio no sistema produtivo de ruminantes é desenvolver dietas e sistemas de manejo que minimizem a produção de metano, possibilitando maior eficiência produtiva e redução da contribuição negativa da pecuária para o aquecimento global.



FORMAÇÃO DO METANO ENTÉRICO E SEU PAPEL NO ECOSSISTEMA RUMINAL

A fermentação dos nutrientes alimentares pela microbiota ruminal (bactérias, protozoários e fungos) resulta na formação de ácidos graxos voláteis (usados pelo ruminante como fonte de energia) e na produção de gases (CO_2 e CH_4), eliminados através da eructação (Martin et al., 2009a). A fermentação é um processo oxidativo, durante o qual ocorre a formação de co-fatores reduzidos (NADH, NADPH e FADH). Para que o processo fermentativo não seja paralisado, esses co-fatores são re-oxidados (NAD^+ , NADP^+ e FAD^+), por meio de reações de desidrogenação, liberando hidrogênio no rúmen.

Como processoceptor de elétrons, a metanogênese remove continuamente o H_2 do meio. Dessa forma, a formação de metano é essencial para o ótimo desempenho do ecossistema ruminal, porque evita o acúmulo de H_2 no rúmen, o que poderia levar à inibição da atividade desidrogenase, envolvida na re-oxidação dos co-fatores reduzidos.

Todo o metano produzido é derivado da atividade das *Archaea* metanogênicas, um grupo microbiano distinto das Eubactérias, que possuem co-fatores (coenzima M, F420 e F 430) e lipídeos (ésteres de isopropanil glicerol) peculiares. Cinco espécies já foram identificadas no rúmen, sendo que apenas duas (*Methanobrevibacter ruminantium* e *Methanosarcina* sp.) foram encontradas em populações acima de 1×10^6 UFC/mL (McAllister et al., 1996).

As vias metabólicas envolvidas na formação de H_2 , bem como as relações interespecíficas da população metanogênica com os demais microrganismos do ecossistema ruminal, são importantes fatores que devem ser considerados no desenvolvimento de estratégias para o controle da emissão de metano por ruminantes.



VIAS METABÓLICAS NA PRODUÇÃO DO METANO

Os substratos mais importantes para metanogênese são o H_2 e o CO_2 . O ciclo de formação do metano pela *Archaea* metanogênica a partir do CO_2 envolve a captação de quatro moléculas de H_2 ($CO_2 + 4 H_2 \rightarrow CH_4 + 2 H_2O$)

As *Archaea* metanogênicas são também capazes de utilizar o H_2 na redução de moléculas de formato, acetato, metilamina e metanol para a produção de metano (Moss, 1993; Wolin et al., 1997).

Os diferentes produtos finais formados durante a fermentação ruminal (ácidos graxos voláteis) não são equivalentes em termos de liberação de H_2 . Portanto, a quantidade de H_2 livre liberado no rúmen depende da concentração e proporções relativas de acetato, propionato e butirato produzidos (Owens e Goetsch, 1988; Eun et al., 2004; Martin et al., 2009a).

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 metano, que depende do balanço de H_2 no rúmen, é influenciada pelas taxas de produção de acetato e propionato (Hegarty, 2001).

RELAÇÕES INTERESPÉCIES

No rúmen, as *Archaea* metanogênicas são encontradas intimamente associadas aos protozoários ciliados e em justaposição com bactérias, não sendo essa, no entanto, uma localização obrigatória (Finlay et al., 1994). Os protozoários contribuem para a metanogênese por meio do fornecimento de H_2 produzido durante a fermentação dos carboidratos, servindo de hospedeiros para, aproximadamente, 30% das bactérias metanogênicas (Jouany, 1996). A associação somática das metanogênicas com protozoários ciliados indica uma relação simbiótica, em que as metanogênicas, por utilizarem o H_2 produzido pelos ciliados, favorecem a manutenção de um ambiente ruminal adequado ao desenvolvimento desses microrganismos (Morgavi et al., 2010).



O metabolismo de duas espécies ruminais importantes na degradação de carboidratos fibrosos (*Ruminococcus albus* e *R. flavefaciens*) é influenciado pela pressão parcial de H_2 no rúmen e, portanto, pela atividade das metanogênicas. O sistema de “transferência de H_2 interespecies” acopla a reação oxidativa da espécie celulolítica *R. albus* com a reação redutora da comunidade *Archaea* metanogênica. Em monocultura, as bactérias *R. albus* produzem etanol, acetato, H_2 e CO_2 ; já em co-cultura com metanogênicas, o NADH é usado para reduzir prótons a H_2 , dando origem a acetato e CH_4 como produtos finais. Dessa forma, a formação de etanol é evitada, levando à maior produção de ATP por unidade de hexose fermentada (Wolin e Miller, 1988).

Os fungos também são reconhecidos como grupo funcional de microrganismos ruminais que, ao fermentarem carboidratos, produzem formato, acetato, lactato, etanol, CO_2 e H_2 . A produção de H_2 pelos fungos ocorre em organelas especializadas denominadas “hidrogenossomas”. Esses microrganismos formam co-culturas estáveis com as bactérias metanogênicas.

PERDAS ENERGÉTICAS DECORRENTES DA EMISSÃO DO METANO ENTÉRICO

A produção de metano entérico representa uma significativa perda de energia pelos ruminantes. Johnson e Ward (1996) relataram perdas de 5,5 a 6,5% da energia bruta (EB) ingerida (Johnson e Ward, 1996). Entretanto, mensurações realizadas em câmaras respirométricas, por calorimetria indireta, evidenciaram maior variação, de 2 a 12% da energia bruta ingerida (Johnson e Johnson, 1995). Esses autores afirmaram que existem duas causas principais desta variação: quantidade de carboidrato fermentado no rúmen e proporções relativas de propionato em relação ao acetato.

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): 1) Dietas com mais de



90% de concentrado: taxa de conversão de CH_4 de 3% da EB ingerida e; 2) Dietas com menos de 90% de concentrado: taxa de conversão de CH_4 de 6,5% da EB ingerida. Isto 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.

Avaliando a produção de CH_4 em novilhos de corte alimentados com dietas exclusivas de forragem ou com 80% de concentrado, Harper et al. (1999) verificaram que 8,1 e 2,1% da EB ingerida foram perdidos como metano, respectivamente. Segundo Kaharabata et al. (2000), uma vaca em lactação, pesando, aproximadamente, 600 kg pode apresentar produção total variando de 375 a 630 litros de CH_4 /dia, sendo a energia perdida na forma de metano (13,344 Kcal/g), suficiente para produzir 4,55 e 7,65 kg de leite com 4% de gordura, respectivamente. Johnson et al. (1994) observaram produção de CH_4 de 256 litros/dia em novilhos (9,1% da EB ingerida), 193,9 litros/dia para novilhas (5,6% da EB) e 548,2 litros/dia (5,7% da EB) para vacas em lactação. Estes dados foram obtidos em condições distintas das condições brasileiras, em países de clima temperado, com forrageiras de ciclo fotossintético C3 e animais de raças pouco expressivas no Brasil. Dados de emissão de metano obtidos no Brasil são escassos. Primavesi et al. (2004) reportaram emissões de 121 e 147 kg de CH_4 /animal/ano para vacas mestiças (Girolanda) e da raça holandesa, pastejando gramíneas tropicais, respectivamente. Estes valores são superiores à média Norte Americana de 118 kg/animal/ano, reportada para vacas de 600 kg, com lactação média de 6.700 kg/ano e ingestão de matéria seca de 16,2 kg/dia (Johnson e Ward, 1996), bem como à média do leste Europeu, estimada em 100 kg de CH_4 /animal/ano para vacas de 550 kg, lactação de 4.200kg/ano e ingestão de 13,8 kg de matéria seca/dia (IPCC, 1995). Isto reforça a necessidade de avanços conceituais em emissão de metano entérico em condições brasileiras.



Apesar de o Brasil ser o líder mundial de exportação de carne bovina, ainda não existem nos artigos de revistas indexadas, resultados consistentes, sobre emissão de CH_4 entérico por bovinos zebus pastejando gramíneas tropicais nos distintos biomas brasileiros, onde esta atividade seja representativa. Com a necessidade de atender à demanda por alimentos oriundos de sistemas sustentáveis, estas informações são necessárias, urgentes e importantes para orientação de decisões no sentido de antecipar à eventual ameaça de imposição de barreiras não-tarifárias para exportação de produtos brasileiros.

Existem várias formas de se expressar a produção de metano entérico, mas o importante é considerar a produção por unidade de produto animal formado (e.g.: kg de leite, carne, lã). Diante desse parâmetro, pode ser estabelecido um equilíbrio entre a necessidade de produção de alimentos para a crescente população e a emissão de GEE, além de evitar que sistemas de produção eficientes sejam penalizados. A eficiência dos sistemas brasileiros ainda 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 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 et al., 2010).

Dados da FAO (2006) revelam que a pecuária mundial é uma das grandes responsáveis pela emissão de GEE no planeta, gerando de 14 a 18% do total de GEE de origem antrópica.



Dentre as alternativas para mitigação de GEE pela pecuária destacam-se a melhoria da qualidade da dieta pela utilização de forragens de melhor valor nutritivo e o 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 toneladas 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 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 CO₂eq). Portanto, pastagens produtivas e manejadas adequadamente além de propiciarem condições favoráveis para aumentos significativos no desempenho animal, também podem absorver grande parte do carbono emitido pela atividade, tornando-se componente importante no balanço de GEE na pecuária. A criação de bovinos em pastagens nessas condições implica melhoria no desempenho produtivo e nos coeficientes técnicos, como taxa de natalidade, redução da idade ao abate e da mortalidade. Esses parâmetros também podem reduzir proporcionalmente as emissões de metano por ruminantes.

No Brasil, a maior parte dos rebanhos é criado a pasto, o que evidencia o potencial de mitigação com a melhoria dos sistemas de produção. O governo brasileiro reconhece tal fato e incorporou em sua proposta apresentada na 15ª Reunião da Conferência das Partes (COP 15) a estratégia de recuperar 15 milhões de ha de áreas de pastagens degradadas, como uma das atividades mitigadoras nacionalmente aplicáveis (NAMAs). Estima-se que esta estratégia seja capaz de reduzir a emissão de 83 a 104 milhões de toneladas de CO₂eq.



Outra estratégia da proposta brasileira é a implantação da tecnologia de Integração Lavoura-Pecuária em 4 milhões de hectares, o que implicará na redução de 18 a 22 milhões de toneladas de CO₂eq até o ano de 2020.

Conforme será apresentado no tópico a seguir, existem inúmeras estratégias nutricionais para a mitigação de metano entérico. O Brasil, um país com dimensões continentais, apresenta ampla diversidade de extratos vegetais, óleos essenciais, ingredientes e aditivos que podem ser incorporados à dieta dos animais. Entretanto o potencial de mitigação de metano desses materiais ainda é desconhecido. Na Comunidade Européia, um projeto desenvolvido em rede, chamado “*RumenUp*” (*Ruminal Metabolism Enhanced Naturally Using Plants*) permitiu a avaliação de 500 substratos vegetais quanto à capacidade de mitigação de metano e efeitos adversos na fermentação ruminal. Dos materiais testados 25 apresentaram algum tipo de ação positiva. A prospecção de alternativas alimentares nos diferentes biomas brasileiros pode ser importante estratégia para obtenção de produtos ou processos agropecuários com capacidade de mitigação de metano entérico.

ESTRATÉGIAS PARA A MITIGAÇÃO DO METANO ENTÉRICO

Para que a degradação dos nutrientes dietéticos no rúmen ocorra normalmente, levando à formação de ácidos graxos voláteis, é necessário que a pressão de H₂ mantenha-se reduzida, o que permite a re-oxidação do NADH. No rúmen esse processo ocorre por meio da metanogênese. 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(s): *i.* Redução da produção de H₂ sem prejudicar a digestão dos alimentos; *ii.* Estimulação da utilização do H₂ por meio de vias de produção de produtos alternativos benéficos para o ruminante; *iii.* Inibição das *Archae* metanogênicas (número e/ou atividade), com concomitante estímulo de vias



que consomem H_2 para evitar os efeitos negativos do aumento da pressão parcial deste gás no rúmen.

Sabe-se que o aumento do nível 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 carne).

A substituição de carboidratos fibrosos (celulose e hemiceluloses) oriundos da forragem por carboidratos não-fibrosos (amido e açúcares), contidos em altas concentrações nos alimentos energéticos, resulta em significativas modificações nas condições físico-químicas do rúmen e na população microbiana. O desenvolvimento de bactérias amilolíticas resulta em mudança na produção de ácidos graxos voláteis, promovendo aumento da proporção de propionato e redução na de acetato. Consequentemente, há queda na produção de metano devido à redução da disponibilidade de H_2 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 observada pode ser explicada pela redução do pH ruminal e declínio do número de protozoários. O baixo pH ruminal também pode inibir o crescimento e/ou atividade das metanogênicas e bactérias celulolíticas.

Desta forma, em dietas com altas proporções de concentrado, os fatores que induzem a redução da produção de metano são: 1) aumento da produção de propionato, o que reduz a quantidade de H_2 disponível no rúmen; 2) inibição das metanogênicas (Hegarty, 1999), das bactérias celulolíticas (Brossard et al., 2004) e dos protozoários pelo baixo pH ruminal e; 3) 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 decrescem



rapidamente para baixos valores (2 a 3% da EB ingerida) para dietas contendo 80 a 90% de concentrado (Lovett et al., 2003; Beauchemin and McGinn, 2005; Martin et al., 2007).

Berchielli et al. (2003) encontraram 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, quando se adicionou 60% de concentrado na dieta (altos níveis de inclusão), 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 resulta em pico de emissão de metano quando o concentrado participa com 40% da matéria seca da dieta.

A adição de alimentos concentrados energéticos em dietas de ruminantes visando à redução da emissão de metano é estratégia que apresenta limitações econômicas e ambientais. As possíveis consequências metabólicas de dietas com alto 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 alta proporção de concentrado nas dietas de ruminantes é questionável em países com alta disponibilidade de 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 dióxido de carbono e óxido nítrico, proveniente 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 do nível de concentrado na dieta, a sua composição também influencia a produção de metano. Lovett et al. (2005) avaliaram o efeito da suplementação do pasto com concentrado, constituído primariamente de subprodutos fibrosos (32,8% FDN), sobre a emissão de metano entérico em vacas. Foi observado aumento da produção diária de metano (de 346 g para 399 g de CH₄/dia) com o incremento do nível de concentrado na dieta. A redução na emissão de metano com o uso do concentrado não ocorreu devido ao seu elevado teor de fibra, o que impediu queda significativa do pH ruminal, e ao baixo teor de amido, o que não estimulou a síntese de ácido propiônico. Entretanto, é importante destacar que os autores observaram tendência de redução da produção de metano por kg de leite produzido, já que o uso do concentrado promoveu aumento de produção das vacas.

Johnson e Johnson (1995), analisando dados da literatura, confirmaram que a fermentação de carboidratos fibrosos leva à maior produção de metano, mas sugeriram que os efeitos dos carboidratos não-fibrosos sejam separados em açúcares solúveis, que são mais metanogênicos do que o amido.

A emissão de metano (g/Kg de MS ingerida) sofre interferência do 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 *Phleum pratense* por alfafa reduz a emissão de metano em 21% (expresso como % da energia digestível). McCaughey et al. (1999) observaram em bovinos de corte, manejados sob condição de 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 consequente aumento da taxa de passagem no rúmen (O'Mara et al., 2004).

A utilização de silagem de milho e de outros cereais, em substituição à de gramíneas, pode reduzir a emissão de metano por ruminantes. Isso se deve



a três fatores: presença de amido dos grãos, o que favorece a produção de propionato; aumento do consumo voluntário e consequente redução do tempo de retenção da digesta no rúmen, o que restringe a fermentação ruminal e favorece a digestão pós-ruminal; e aumento do desempenho animal, devido à associação entre incremento do consumo e digestão pós-ruminal, reduzindo, portanto, a emissão de metano por produto animal (O'Mara et al., 1998)

Existem diferenças significativas na composição de carboidratos das forragens, o que influencia o potencial metanogênico das mesmas. Gramíneas de ciclo fotossintético C4 podem produzir mais metano por kg de MS ingerida do que gramíneas C3 (Ulyatt et al., 2002).

As características das gramíneas C4 podem conduzir a diferentes interpretações quanto ao potencial de fornecimento de substrato para fermentações que geram CH₄ no rúmen. Estas plantas forrageiras, por possuírem maiores proporções de fibra que as plantas de metabolismo C3 (Nelson e Moser, 1994) devem favorecer a fermentação acética, com maior produção de CH₄. Por outro lado, esta fibra apresenta baixa digestibilidade e menor velocidade de fermentação, quando comparadas à das forrageiras de clima temperado, fornecendo menor quantidade de substrato para os microrganismos metanogênicos (Pedreira et al., 2005).

Outro fator determinante para a menor produção de CH₄ por bovinos em lactação manejados em regiões de clima temperado é a utilização de grãos em proporções acima de 50% na dieta, a qual atende às exigências energéticas diárias com menor volume de matéria seca. O percentual de CH₄ produzido a partir da EB ingerida é estimado entre 5,5 e 6,5% na América do Norte e leste europeu, respectivamente (Estados Unidos, 2000). Primavesi et al. (2004) encontraram valores de 8,3% para vacas da raça holandesa em lactação e 10,6% para as mestiças, mantidas em pastagens adubadas de capim-tobiatã e braquiária, respectivamente.

Blaxter e Claperton (1965) verificaram que a proporção de energia perdida como metano diminuía com o aumento da digestibilidade da dieta para animais com consumo acima da manutenção. Esse fato justifica a redução de



metano observada com o aumento do nível de concentrado, conforme já discutido. Entretanto, essa relação inversa entre digestibilidade e produção de metano não é observada quando os animais estão ingerindo exclusivamente pastagem. Nesse caso, a qualidade do pasto selecionado, a ingestão de matéria seca e a produção de metano são positivamente relacionadas.

Avaliando a produção de metano por ovinos com consumo em nível de manutenção, recebendo exclusivamente volumosos tropicais em diferentes idades de corte, Castro et al. (2009) observaram que para os animais consumindo capim-elefante a maior produção de metano ocorreu para o capim cortado aos 56 dias, sendo este tratamento o que apresentou o maior valor de digestibilidade aparente da matéria seca. Hegarty (2001) analisou o efeito do melhoramento da qualidade da forragem na produção de metano por ovinos da raça Merino manejados a pasto e verificou que a proporção da energia ingerida perdida como metano diminuiu de 6,6 para 6,0%, com o aumento da digestibilidade, apesar do aumento da produção diária do gás.

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 de metano observada para forragens mais jovens pode ser explicada pelos maiores teores de carboidratos solúveis e ácido linoléico/linolênico.

De acordo com Beauchemin et al. (2008), a metanogênese é influenciada pelo método de conservação e processamento, sendo que tende a ser menor quando a forragem é ensilada do que quando é desidratada, e quando ela é finamente moída ou peletizada do que quando é grosseiramente picada. A moagem e a peletização de forragens reduzem marcadamente a metanogênese (queda de 20 a 40% da produção de metano por unidade da dieta) (Blaxter, 1989), devido ao aumento da taxa de passagem. Entretanto, esses efeitos não são aparentes quando o consumo desses alimentos é restrito.



A amoniação ou a suplementação proteica de forragens de baixa qualidade aumenta a perda de metano proporcionalmente ao incremento da digestibilidade. Entretanto, a produção de metano por unidade de produto é reduzida (Johnson e Johnson, 1995)

A adição de lipídeos em dietas de ruminantes é também uma estratégia para a mitigação de metano entérico. Entre os fatores que explicam a ação positiva dos lipídeos na redução de metano entérico podem ser citados: 1) redução da matéria orgânica fermentável no rúmen, já que os lipídeos não são fonte de energia para as bactérias ruminais; 2) ácidos graxos de cadeia média reduzem a atividade das metanogênicas (Machmuller et al., 2003); 3) ácidos graxos poliinsaturados exercem efeito tóxico sobre bactérias celulolíticas (Nagajara et al., 1997) e protozoários (Doreau e Ferlay, 1995) e; 4) captura de H_2 pela biohidrogenação dos ácidos graxos poliinsaturados (Johnson e Johnson, 1995).

O efeito tóxico de ácidos graxos de cadeia longa ocorre por meio da ação deletéria sobre a membrana celular, particularmente de bactérias gram-positivas. O ácido linoleico é tóxico para bactérias celulolíticas (*F. succinogenes*, *R. albus* e *R. flavefaciens*), por afetar a integridade celular, e para fungos *Neocallimastix frontalis* cultivados *in vitro* (Maia et al., 2007). Essas mudanças na população microbiana ruminal favorecem a formação de propionato, aumentando a captação de H_2 nesse processo.

A biohidrogenação dos ácidos graxos poliinsaturados resulta em captura de H_2 , entretanto, sua influência sobre a metanogênese é baixa, sendo que a completa hidrogenação de 1 mol de ácido linolênico previne a formação de apenas 0,75 mol de CH_4 (Martin et al., 2009a). A utilização de H_2 metabólico no processo de biohidrogenação de ácidos graxos insaturados é pequena (1%) se comparada quando utilizado para redução do CO_2 (48%), síntese de ácidos graxos voláteis (33%) e 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, fonte de lipídeo



utilizada, forma de fornecimento (óleo refinado ou sementes de oleaginosas, por exemplo) e 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), reduções de 10 a 25% são mais prováveis em situações comerciais práticas (Beauchemin et al., 2008). Recomenda-se que a adição de lipídeo total na dieta não ultrapasse 6 a 7% da matéria seca dietética para evitar depressão do consumo. 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 H_2 no rúmen.

Beauchemin et al. (2008), revisando 17 estudos com bovinos e ovinos, estabeleceram relação entre o nível de lipídeo adicionado (% da MS ingerida) e redução da emissão de metano (g/Kg de MS ingerida) para diferentes fontes de gordura e óleos. Foi encontrada redução de 5,6% na produção de metano para cada 1% de adição de lipídeo. Os autores encontraram considerável variação na inibição da metanogênese entre as fontes de lipídeos e relataram queda acentuada na produção de metano (g/Kg MSI) em alguns estudos com óleo de côco (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 de bovinos e ovinos. O resultado obtido foi de 3,8% de redução média do metano (g/kg MS ingerida) para cada 1% de gordura adicionada (% do consumo de MS).

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 óleo de côco, de dendê, e 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 produz efeito sinérgico, levando à queda acentuada na emissão de metano (Soliva et al., 2004). O mecanismo primário pelo qual os ácidos graxos de cadeia média reduzem a metanogênese é por meio da sua toxicidade sobre as metanogênicas.

Suplementos ricos em ácidos graxos poliinsaturados (PUFA), como ácido linoleico das sementes de girassol e ácido linolênico da linhaça, também têm efeito negativo sobre a produção de metano. Martin et al. (2008) observaram redução no metano de 52% para suplementação com 5,8% de óleo de linhaça, enquanto que Jordan et al. (2006a) relataram redução de 37% para a adição de 6,0% de óleo de soja. O efeito dos PUFA sobre a metanogênese ocorre em parte devido à redução na digestibilidade da fibra e consumo de matéria seca. Quedas drásticas na produção de metano por meio da suplementação dietética de lipídios ocorrem apenas quando a digestão da fibra é inibida (Johnson e Johnson, 1995).

Existem poucos estudos avaliando os efeitos de ácidos graxos monoinsaturados, como ácido oleico da colza e ácidos graxos saturados, como palmítico e esteárico do sebo. Um decréscimo de 30% na produção de metano foi observado quando se adicionou 12% de sebo na dieta (Van der Honing et al., 1983). Entretanto esse efeito não foi observado em alguns estudos com vacas leiteiras (Johnson et al., 2002; Woodward et al., 2006) e ovinos (Cosgrove et al., 2008). De qualquer forma, o uso do sebo na alimentação de ruminantes está proibido no Brasil.

Alguns estudos mostraram que o efeito dos lipídeos sobre a metanogênese depende parcialmente do tipo da dieta, mas os resultados não são definitivos. Martin et al. (2009b) encontraram queda mais pronunciada para dietas com feno do que com silagem de milho, com o uso de linhaça em vacas leiteiras. Lovett et al. (2003) mostraram que a suplementação com óleo de côco



promoveu maior redução da emissão de metano por novilhos em dietas ricas em concentrado do que dietas ricas em forragem.

A utilização comercial dessa estratégia para mitigação do metano, geralmente é inviabilizada pelo alto custo das fontes de lípideos em países de clima temperado, mas apresenta potencial de uso no Brasil, devido à maior disponibilidade e menor preço desses produtos.

Com a obrigatoriedade da inclusão de percentuais mínimos de biodiesel ao diesel, instituída pela Lei 11.097/2005 do governo brasileiro (a partir de janeiro de 2010, tornou-se obrigatório a inclusão de 5% de biodiesel ao diesel), a agricultura brasileira vem se adequando a esta realidade de produção de oleaginosas para fins não alimentares. Opções de matérias primas vem sendo estudadas e utilizadas (soja, mamona, algodão, pinhão manso, dendê, licuri, babaçu, macaúba, nabo forrageiro, amendoim, girassol, canola e côco). Uma das consequências desta nova realidade é a geração de grandes quantidades de co-produtos (farelos, tortas e glicerina), além da disponibilidade de diversos tipos de óleos que são utilizados para a produção de biodiesel, ambos com potencial para serem incluídos na dieta de ruminantes e, possivelmente, de contribuir com a mitigação de metano entérico (Pereira et al., 2008). Esses autores destacaram a glicerina como possível ingrediente alimentar capaz de mitigar metano, já que os precursores diretos de propionato têm demonstrado efeito positivo na redução da metanogênese. Na Conferência Internacional de Gases de Efeito Estufa na Agricultura realizada em Banff no Canadá, Stagno et al. (2010) e Lee et al. (2010) indicaram a possibilidade de redução da emissão de metano com a inclusão de glicerina com base em estudo *in vitro*. Já Reynolds et al. (2010) em ensaio *in vivo*, não observaram redução na emissão de metano por vacas alimentadas com dietas contendo glicerina.

A quantificação da capacidade de mitigação dos coprodutos do biodiesel em mitigar metano é importante, pois os benefícios da inclusão dos **co-produtos e óleos na dieta de ruminantes** podem somar-se aos benefícios da **utilização de biodiesel como fonte energética** (redução da emissão de CO₂),



contribuindo para a consolidação do Brasil como referência mundial em biocombustíveis.

Outra estratégia de mitigação de metano entérico é a utilização de aditivos. A manipulação do ecossistema ruminal é ferramenta bastante utilizada por nutricionistas, visando melhorar a conversão alimentar e o desempenho dos animais. No passado, as pesquisas focaram o uso de antimicrobianos, como 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 ionóforos são antimicrobianos tipicamente utilizados como aditivos em rebanhos comerciais de bovinos leiteiros e de corte, visando modular o consumo e melhorar a eficiência de produção de carne e leite (McGuffey et al. 2001).

Os efeitos anti-metanogênicos dos ionóforos estão mais relacionados com a inibição da formação dos precursores (formato e H_2) 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 H_2 . 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 que, conhecidamente produzem H_2 e são colonizados por metanogênicas (McAllister et al., 1996).

A extensão da redução na metanogênese ruminal é variável, sendo encontrados valores entre 4 e 31% (Johnson & Johnson, 1995). De acordo com Tedeschi et al. (2003), os ionóforos podem reduzir a produção de CH_4 em 25% e a ingestão de alimentos em 4%, sem afetar o desempenho animal. Dados da literatura indicam que o efeito da monensina na redução da emissão de metano é dose-dependente. Alguns estudos revisados por Beauchemin et al. (2008) mostraram que doses inferiores a 15 ppm não têm efeito sobre a



metanogênese (g/dia ou g/kg de MS ingerida) em vacas leiteiras. Doses mais elevadas (24-35 ppm) reduziram a produção de metano (g/dia em 4-10% e g/kg de MS ingerida em 3-8%) por bovinos de corte e de leite (Sauer et al. 1998; McGinn et al. 2004; Van Vugt et al. 2005; Odongo et al. 2007). Reduções na emissão de metano de 30% foram reportadas quando 33 ppm de monensina foram incluídos em dietas com alto ou baixo teor de forragem (Guan et al. 2006).

A inibição da metanogênese pelos ionóforos não é sustentada por longos períodos, provavelmente devido à habilidade de adaptação da microflora ruminal (Newbold et al., 1993; Johnson & Johnson, 1995). Guan et al. (2006) mostraram que a monensina (33 mg/kg) reduziu a emissão de metano por bovinos de corte em até 30%, mas os níveis de produção desse gás foram restaurados dentro de dois meses. Possíveis explicações para o desenvolvimento de resistência aos ionóforos incluem modificações dos polissacarídeos da membrana celular, aumento na atividade da bomba iônica (Russel e Strobel, 1989) e substituição da população de bactérias susceptíveis por uma população predominante de bactérias resistentes (Lana e Russel, 1986). Entretanto, Odongo et al. (2007) evidenciaram que o desenvolvimento de resistência aos ionóforos pode não acontecer, sendo observado em seu estudo que a monensina reduziu a produção de metano em vacas leiteiras por período superior a 6 meses.

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 metano entérico por ruminantes não representa alternativa viável no longo prazo.

Os ácidos orgânicos (malato e fumarato) representam alternativa ao uso de antimicrobianos como aditivos na alimentação de ruminantes. Essas substâncias podem estimular a captação de lactato pelas bactérias *Selenomonas ruminantium* (Martin e Park, 1996) e atuar como tampões, prevenindo quadros de acidose ruminal em dietas ricas em concentrados energéticos. Além disso, o suprimento de ácidos orgânicos, precursores diretos



de propionato, tem demonstrado efeito positivo na redução da metanogênese, sendo o efeito dose-dependente (Asanuma et al., 1999; O'Mara, 2004).

Demeyer e Henderickx (1976) realizaram um dos primeiros estudos *in vitro* avaliando o efeito dos ácidos orgânicos sobre a metanogênese e mostraram que o fumarato promoveu redução na formação de CH₄ em 60%. Utilizando a técnica de simulador ruminal (Rusitec), López et al. (1999) observaram que a adição de 6,25 mM de fumarato reduziu a formação de CH₄ em 17%. Entretanto, esses autores alertaram que a utilização do fumarato poderia não ter o mesmo efeito *in vivo*, devido à menor afinidade pelo H₂ da enzima fumarato redutase em relação à hidrogenase.

Assim, em contraste ao efeito bem estabelecido dos ácidos orgânicos sobre a metanogênese em estudos *in vitro*, as respostas *in vivo* para a adição desses aditivos na dieta permanecem inconclusivas e altamente variáveis (Martin et al., 2009a). Wallace et al. (2006) observaram redução de 75% na produção de metano com adição de 10% de fumarato encapsulado na dieta de cordeiros, sem efeito negativo no crescimento. Já McCourt et al. (2008) não observaram efeito do fumarato encapsulado em vacas leiteiras.

A utilização comercial dos ácidos orgânicos como aditivos para ruminantes é limitada, principalmente pelo custo, podendo sua utilização não ser economicamente viável. Por essa razão, forragens podem ser fornecidas como fonte de ácidos dicarboxílicos. Os intermediários do ciclo do ácido tricarboxílico acumulam-se nos tecidos das plantas. Entretanto, de acordo com O'Mara (2004), grande variação é verificada (0,6 a 7,5% da MS). Callaway et al. (1997) conduziram estudo para determinar as concentrações de malato presentes no feno de cinco variedades de alfafa em diferentes estádios de maturação. Com o avanço da maturidade, a concentração de malato reduziu, variando de 6,5 a 7,0% para a alfafa colhida jovem, a 2,9 a 4,5% quando colhida tardiamente. Martin (1998) sugeriu que o elevado teor de malato em forragens frescas nos estádios iniciais de crescimento, especialmente alfafa, podem levar a mudanças significativas na fermentação microbiana ruminal.



São necessárias mais pesquisas avaliando as modificações promovidas no ambiente ruminal pelos ácidos orgânicos, fornecidos como aditivos, bem como aqueles presentes em forragens nos estádios iniciais de crescimento.

Outros aditivos com potencial para a mitigação de metano são as leveduras. As leveduras são fungos unicelulares, especialmente do gênero *Saccharomyces*, e têm sido utilizadas como probióticos na dieta de ruminantes. As alterações associadas à utilização das leveduras incluem aumento da concentração de ácidos graxos voláteis e proporção molar de propionato, decréscimo da concentração de ácido láctico no líquido ruminal e menor variação pós-refeições no pH e amônia ruminal (Moraes et al., 2006).

As leveduras fornecem nutrientes e removem o oxigênio adsorvido às partículas de alimento que entram no rúmen, estimulando o crescimento de bactérias, principalmente celulolíticas, fungos e protozoários (Wallace, 1994). Extratos aquosos de *S. cerevisiae* estimularam, em culturas puras, o crescimento e a atividade das bactérias utilizadoras de lactato, como *S. ruminantium* e *Megasphaera elsdenii* (Nisbet e Martin, 1991), devido ao seu elevado conteúdo de ácido málico, que serve de intermediário para a transformação de lactato em propionato.

A utilização de leveduras como estratégia de mitigação da emissão de metano entérico não tem sido extensivamente pesquisada. Os poucos trabalhos disponíveis na literatura focam outros efeitos não relacionados à metanogênese e os resultados descritos são contraditórios, com aumento, redução ou sem alterações sobre a emissão de metano (Chaucheyras-Durand et al., 2008). As leveduras apresentam grande diversidade funcional e metabólica e algumas cepas são capazes de reduzir a produção de metano *in vitro* (Newbold e Rode, 2006).

Probióticos acetogênicos vêm sendo também estudados como aditivos capazes de mitigar metano. Em algumas espécies com fermentação pós-gástrica (humanos, *hamster*, coelho, rato) a acetogênese redutiva é um mecanismo natural de utilização do H₂ no trato gastrointestinal. Sabe-se que a acetogênese também acontece no rúmen, mas sua capacidade



“hidrogeniotrófica” e significância ecológica não são bem compreendidas (Mackie e Bryant, 1994).

O primeiro microrganismo ruminal acetogênico reconhecido, *Eubacterium limosum*, foi isolado em ovinos alimentados com dieta à base de melaço (Gethner et al., 1981) e foi então demonstrada sua capacidade de crescer em meio com CO_2 e H_2 e produzir acetato. A dificuldade de isolar acetogênicos (Braun et al. 1979) indicava que esses microrganismos não eram habitantes naturais do rúmen e a acetogênese não foi considerada um processo ruminal relevante. Entretanto, com o aumento das discussões sobre o papel do metano no aquecimento global, a acetogênese passou a ser vista como possível estratégia de mitigação da emissão de metano entérico.

Além disso, o produto final dessa reação, o acetato, tem a vantagem adicional de ser fonte de energia para o animal hospedeiro. Entretanto, no ambiente ruminal a acetogênese é menos eficiente do que a metanogênese na competição por equivalentes redutores. A acetogênese precisa de uma concentração de H_2 mais alta no meio para reduzir CO_2 a acetato do que aquela necessária pelas metanogênicas para reduzir CO_2 a CH_4 . Além disso, a última reação é termodinamicamente mais favorável (Weimer, 1998).

Recentes estudos indicaram que todos os ruminantes apresentam pelo menos uma pequena população de bactérias acetogênicas e que sua densidade é influenciada pela dieta. Sugere-se que a presença de acetogênicas no rúmen é um mecanismo de defesa para se evitar o acúmulo de H_2 em casos de inibição da metanogênese, ou seja, esses microrganismos provavelmente não atuam no rúmen competindo com as metanogênicas (Hegarty, 2001). Bactérias acetogênicas estão presentes em grande número no rúmen de bezerros recém-nascidos, antes do estabelecimento da metanogênese (Morvan et al., 1994) e em bovinos alimentados com dietas com baixa relação volumoso:concentrado (Leedle e Greening, 1988). Le Van et al. (1998) encontraram densidade de bactérias acetogênicas de $2,5 \times 10^5/\text{mL}$ de líquido ruminal em vacas de corte alimentadas com dieta à base de feno e



concentrado, mas uma densidade menor que 102/mL para dieta rica em concentrado e contendo monensina.

O uso de probióticos para aumentar a população de acetogênicas no rúmen tem sido estudado por vários autores, com e sem adição de inibidores da metanogênese, mas os resultados até agora não foram satisfatórios ou não são conclusivos. O recente isolamento de novas espécies oriundas do trato gastrointestinal de diversas espécies com maior afinidade pelo H_2 (Klieve e Joblin, 2007) representa nova perspectiva para essa estratégia de mitigação.

Recentemente, vem crescendo o interesse no uso 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 é altamente variável. A maioria dos trabalhos aborda o uso de taninos, saponinas e óleos essenciais. Quando altos 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 taninos hidrolisáveis e condensados. A atividade antimetanogênica dos taninos presentes nas plantas tem sido atribuída principalmente ao grupo de taninos condensados. Taninos hidrolisáveis, embora também afetem a metanogênese, são considerados mais tóxicos para os animais (Field et al, 1989).

Os taninos formam complexos principalmente com proteínas e, em menor grau, com íons metálicos, aminoácidos e polissacarídeos, reduzindo a digestibilidade. Entretanto, a presença de baixas concentrações de taninos na dieta pode ser utilizada como potencial modulador da fermentação ruminal (Morais et al., 2006).

A ação dos taninos condensados na metanogênese pode ser atribuída a um efeito indireto, pela redução na produção de H_2 , como consequência da



redução na digestibilidade da fibra, e por efeito inibitório direto na população metanogênica (Woodward et al., 2001).

Tiemann et al. (2008) observaram que a inclusão de leguminosas com altos teores de tanino (*Callinadra calothyrsus* e *Fleminga macrophylla*) reduziu a emissão de metano por carneiros em até 24%, mas esse efeito foi associado à redução na digestibilidade da matéria orgânica e da fibra. Oliveira et al. (2006) avaliaram o efeito de dietas contendo silagens de sorgo com baixo e alto teor de taninos, fornecidas para bovinos de corte, mas não observaram efeito desses compostos sobre a metanogênese. Carneiros recebendo extrato de folhas de *Uncaria gambir*, denominado “*gamberin*”, um produto contendo 49% de tanino condensado, apresentaram significativa redução na perda de energia como metano (% da EB) e queda de 75% no número de protozoários (Sarvan, 2000). Vacas leiteiras produziram menor quantidade de metano (26,90 g CH₄/kg de MS ingerida e 378 g CH₄/kg de sólidos do leite) quando alimentadas com *Lotus corniculatus* (rica em taninos) do que quando alimentadas com silagem de azevém (35,23 g CH₄/kg de MS ingerida e 434 g CH₄/kg de sólidos do leite) (Woodward et al., 2001).

As saponinas são glicosídeos encontrados em muitas plantas, como a *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). O principal mecanismo de ação antimetanogênica das saponinas está relacionado ao seu efeito contra protozoários. 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 quando utilizaram altas 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 em ensaios *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. Entretanto, o efeito defaunante das saponinas pode ser transitório e nem sempre é acompanhado de redução na produção de metano.

Os resultados da utilização das saponinas na fermentação ruminal têm-se mostrado contraditórios e uma das principais dificuldades de se obter dados consistentes é a grande variedade estrutural desses compostos. Portanto, a fonte de saponinas deve ser levada em consideração, já que há considerável variação inter e intra-espécies vegetais. São necessários mais estudos para identificar quais os tipos de saponinas geram resultados mais persistentes sobre a metanogênese ruminal (Moraes et al., 2006).

Os óleos essenciais são metabólitos secundários presentes em algumas plantas, sendo responsáveis pelo odor e cor das mesmas. São escassos os trabalhos sobre óleos essenciais, mas as pesquisas conduzidas até o momento indicam a possibilidade do seu uso 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 em ensaios *in vitro*. Alguns dos componentes do óleo essencial obtido do alho promoveram redução da formação de metano. Esse efeito foi atribuído a toxicidade de compostos organofosforados (Busquet et al., 2005).

A utilização desses compostos na dieta de ruminantes como estratégia de mitigação do metano requer o desenvolvimento de estudos *in vivo* para determinar a dose ideal dos seus componentes ativos e analisar a presença de resíduos nos produtos animais para o consumo humano. Além disso, é preciso investigar possíveis efeitos anti-nutricionais de tais moléculas e considerar o potencial de adaptação dos microrganismos ruminais (Martim et al., 2009), além dos efeitos na qualidade sensorial na carne ou leite.



Segundo Soliva e Hess (2007), ainda é grande a falta de dados quantitativos sobre a eficiência de estratégias de mitigação, particularmente nos trópicos onde está abrigada grande quantidade dos animais domésticos sob variadas opções de alimentação e manejos alimentares.

METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE EMISSÃO DE METANO ENTÉRICO

As emissões de metano podem ser mensuradas usando metodologias *in vivo* e *in vitro*. O uso e a manutenção de animais experimentais representam custos elevados. Consequentemente, os métodos *in vitro* geralmente são a primeira opção para a avaliação de estratégias de redução ou inibição da produção de metano. As técnicas *in vitro* são as menos onerosas e rápidas para *screening* de dietas e suas combinações, além de permitirem a avaliação de grande diversidade de aditivos e ingredientes alimentares sobre a metanogênese (Makkar e Vercoe, 2007). As dietas, aditivos e inibidores capazes de reduzir a produção de metano *in vitro*, podem então ser avaliadas em ensaios *in vivo* mais detalhados e onerosos, contemplando situações práticas de alimentação.

As técnicas *in vivo* envolvem mensurações em animais vivos, estabulados ou em condições de produção. O método *in vivo* referência (*Gold Standard*), adotado nos principais grupos de pesquisa sobre o assunto, envolve o uso de câmaras respirométricas, onde os animais são alocados e os gases emitidos são coletados para análise (Rodriguez et al., 2007), ou mensurados com auxílio da inserção de indicadores no rúmen, conforme a metodologia do gás traçador Hexafluoreto de Enxofre - SF₆ (Johnson et al, 1994), que vem sendo adotada como método padrão para mensurações com animais em pastejo.

No IPCC (2006) foi reportada a necessidade dos países onde a emissão de metano entérico é significativa gerarem informações específicas, incluindo dados de composição das dietas, dos produtos da fermentação entérica, da sazonalidade da população animal e da qualidade e disponibilidade do alimento e, possivelmente, da inclusão de estratégias de mitigação nos modelos de



predição de metano entérico. Para isso a mensuração de emissão de metano entérico em experimentos bem documentados é fundamental.

Em estudos envolvendo a avaliação de emissão de GEE para produção de alimentos, têm-se evidenciado a importância da consideração da densidade nutricional dos alimentos. Smedman et al. (2010) 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 100g 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 a densidade de nutrientes (densidade de nutrientes/emissão de GEE), o leite apresentou vantagem em relação aos demais (0,54 x 0, 0,28, 0, 0,01, 0, 0,25 e 0,07 para leite, refrigerantes, suco de laranja, cerveja, vinho, água mineral, bebida de soja e bebida de aveia, respectivamente). Este resultado representa argumento convincente de embate à mídia que tem abordado o assunto rotulando os bovinos como grandes vilões nos cenários de mudanças climáticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A emissão de metano por ruminantes é consequência dos processos fermentativos gastrintestinais, que garantem a estas espécies a habilidade de transformar alimentos grosseiros, ricos em celulose, em alimentos (leite e carne) e produtos de origem animal fundamentais para a evolução e desenvolvimento da humanidade. Estas emissões, apesar de apresentarem potencial de contribuição para o aquecimento global, não devem ser consideradas de forma isolada, e sim abordadas em contexto sistêmico, levando-se em consideração a dinâmica de carbono em todo o sistema de produção.

A escolha das estratégias de mitigação de metano entérico deve ser baseada na capacidade de redução nas emissões associada à viabilidade econômica de adoção. No Brasil, o incremento nos índices zootécnicos, passíveis de serem atingidos com melhorias nos sistemas de produção



(principalmente 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 gases de efeito estufa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asanuma, N., Iwamoto, M., Hino, T., 1999. Effect of the addition of fumarate on methane production by ruminal microorganisms in vitro. *Journal of Dairy Science*. 82, 780–787.
- Barioni, L. G.; Lima, M.A. de; Zen, S.; Guimaraes Junior, R.; Ferreira, A. C. 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.
- Beauchemin K.A, Kreuzer, M, O'Mara, F., McAllister, T.A. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48, 21–27.
- Beauchemin K.A., McGinn, S.M. 2005. Methane emissions from feedlot cattle fed barley or corn diets. *Journal of Animal Science* 83, 653–661.
- Benchaaar C, Pomar C and Chiquette J 2001. Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: a modelling approach. *Canadian Journal of Animal Science* 81, 563–574.
- Berchielli, T.T.; Pedreira, M.S.; Oliveira, S.G; Primavesi, O.; Lima, M.; Frigueto, R.T.S. 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.
- Blaxter, K. L. 1989. *Energy Metabolism in Animals and Man*. Cambridge University Press, New York.



- Blaxter, K. L., & Clapperton, J.L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition*, 19: 511-522, 1965.
- Braun, M., Schoberth, S., and Gottschalk, G. (1979). Enumeration of bacteria forming acetate from H₂ and CO₂ in anaerobic habitats. *Archives for Microbiology* 120, 201.4.
- Brossard L, Martin C, Chaucheyras-Durand F and Michalet-Doreau B 2004. Protozoa at the origin of butyric and non-lactic latent acidosis in sheep. *Reproduction Nutrition Development* 44, 195–206.
- Busquet M, Calsamiglia S, Ferret A, Carro MD and Kamel C 2005. Effect of garlic oil and four of its compounds on rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science* 88, 4393–4404.
- Callaway, T.R., Martin, S.A., Wampler, J.L., Hill, N.S., Hill, G.M., 1997. Malate content of forage varieties commonly fed to cattle. *J. Dairy Sci.* 80, p. 1651–1655.
- Castillo, C.; Benedito, J.L. Méndez, J. 2004. Organic acids as a substitute for monensina in diets for beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*. 115, p.101–116
- Castro, G.H.F.; et al. Produção de metano em ovinos consumindo volumosos tropicais. In: Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 46., 2009, Maringá. *Anais...Maringá: SBZ*, 2009.
- Chaucheyras, F. *et al.* *In vitro* H₂ utilization by a ruminal acetogenic bacterium cultivated alone or in association with Archaea Methanogen is stimulated by a probiotic strain of *Sacharomyces cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*, 61:3466, 1995.
- Chaucheyras-Durand F, Walker ND and Bach A 2008. Effects of active dry yeasts on the rumen microbial ecosystem: past, present and future. *Animal Feed Science and Technology* 145, 5–26.
- Cosgrove GP, Waghorn GC, Anderson CB, Peters JS, Smith A, Molano G and Deighton M 2008. The effect of oils fed to sheep on methane production and digestion of ryegrass pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48, 189–192.



- Cotton, W.R.; Pielke, R.A. *Human impacts on weather and climate*. Cambridge: Cambridge University, 1995, 288p.
- Crespo, N.P., Puyalto, M., Carro, M.D., Ranilla, M.J., Mesia, J., 2002. Ácidos orgânicos en dietas para rumiantes. *Albóitar* 57, 48–50.
- Davies, A. et al. Properties of a novel series of inhibitors of rumen methanogenesis; in vitro and in vivo experiments including growth trials on 2, 4-bis (trichloromethyl)-benzo [1,3] dioxin-6-carboxylic acid. *British Journal of Nutrition*, v.47, p.565, 1982.
- Dehority, B. A. *Rumen Microbiology*. Nottingham: Nottingham University Press, 2003. 372p.
- Demeyer, D.I., Henderickx, H.K., 1967. Competitive inhibition of in vitro methane production by mixed rumen bacteria. *Arch. Int. Physiol. Biochem.* 75, 157–159.
- Deramus, H.A.; Clement, T.C.; Giampola, D.D.; Dickison, P.C. . 2003. Methane emissions of beef cattle on forages: efficiency of grazing management systems. *Journal of Environment Quality*, n.32, p.269-277
- Dohme F, Machmu"ller A, Wasserfällen A and Kreuzer M 2001. Ruminant methanogenesis as influenced by individual fatty acids supplemented to complete ruminant diets. *Letters in Applied Microbiology* 32, 47–51.
- Doreau M and Ferlay A 1995. Effect of dietary lipids on nitrogen metabolism in the rumen: a review. *Livestock Production Science* 43, 97–110.
- encapsulated fumaric acid on methane production from grazing dairy cows. In *Proceedings of the British Society of Animal Science*, 31 March–2 April 2008, Scarborough, UK, p. 64.
- Estados Unidos. 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. v.1, p.VII-3-VII-22. Summary report.



Eun, J.S.; Fellner, V.; Gumpertz, M.L. Methane production by mixed ruminal cultures incubated in dual-flow fermentors. *Journal of Dairy Science*, Savoy, v.87, p.112-121, 2004.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO statistical databases. Rome, 2006. Disponível em <http://faostat.fao.org>. Acesso em 4 de junho de 2010.

Field JA, Kortekaas S and Lettinga G 1989. The tannin theory of methanogenic toxicity. *Biological Wastes* 29, 241–262.

Finlay, B.J.; Esteban, G.; Clarke, K.J.; Williams, A.G.; Embley, T.M; Hirt, R.P. Some rumen ciliates have endosymbiotic methanogens. *FEMS Microbiology Letters*, Delft, v.117, p.157-161, 1994.

Genthner, B. R. S., Davis, C. L., and Bryant, M. P. (1981). Features of rumen and sludge strains of *Eubacterium limosum*, a methanol and H₂-CO₂-utilising species. *Applied and Environmental Microbiology* 42, 12.19.

Golschmidt, R.; Passos, E. *Data mining: um guia prático*. Elsevier: Rio de Janeiro, 2005.

Guan H, Wittenberg KM, Ominski KH, Krause DO (2006) Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. *Journal of Animal Science* 84, 1896–1906. doi: 10.2527/jas.2005-652

Guo YQ, Liu JX, Lu Y, Zhu WY, Denman SE and McSweeney CS 2008. Effect of tea saponin on methanogenesis, microbial community structure and expression of *mcrA* gene, in cultures of rumen micro-organisms. *Letters in Applied Microbiology* 47, 421–426.

Harper, L.A.; Denmead, O.T.; Freney, J.R.; Byers, F.M. Direct measurements of methane emissions from grazing and feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, v.77, p.1392–1401, 1999.

Hegarty RS 1999. Reducing rumen methane emissions through elimination of rumen protozoa. *Australian Journal of Agricultural Research* 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, Machmüller A, Carulla JE, Lascano CE and Kreuzer M 2004. Ruminal fermentation, methanogenesis and nitrogen utilization of sheep receiving tropical grass hay-concentrate diets offered with *Sapindus saponaria* fruits and *Cratylia argentea* foliage. *Animal Science* 79, 177–189.

Holter, J.B.; Young, A.J. 1992. Methane production in dry and lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, n.75, p.2165-2175.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Emissions from livestock and manure management. In: Eggleston, H. S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tabane, K. (eds). IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Hayama: IGES, 2006. chap. 10, p. 747-846.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (Genebra, Suíça). *Climate change 1994: radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios*. Cambridge: University Press, 1995. 339p.

Intergovernmental panel on climate change (Genebra, Suíça). *Climate change 1994: radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios*. Cambridge: University Press, 1995. 339p.

Ionóforo

Joblin, K.N. Ruminal acetogens and their potential to lower ruminant methane emissions. *Aust. J. Agric. Res.*, v.50, n.8, p.1321-1327, 1999.

Johnson D. E., Phetteplace H. W., Seidl A .F. (2002) Methane, nitrous oxide and carbon dioxide emissions from ruminant livestock production systems. In 'Greenhouse gases and animal agriculture'. (Eds J Takahashi, BA Young) pp. 77–85. (Elsevier: Amsterdam, The Netherlands)

Johnson KA, Kincaid RL, Westberg HH, Gaskins CT, Lamb BK and Cronrath JD 2002. The effect of oilseeds in diets of lactating cows on milk production and methane emissions. *Journal of Dairy Science* 85, 1509–1515.

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

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



- Johnson, K.; Huyler, M.; Westberg, H. et al. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF6 tracer technique. *Environ. Sci. Technol.*, v.28, p.359- 362, 1994
- Johnson, K.A.; Johnson, D.E. Methane Emissions from Cattle. *J. Anim. Sci.*, v.73, p.2483- 2492, 1995.
- Jordan E, Kenny D, Hawkins M, Malone R, Lovett DK and O'Mara FP 2006a. Effect of refined soy oil or whole soybeans on intake, methane output, and performance of young bulls. *Journal of Animal Science* 84, 2418–2425.
- Jordan E, Lovett DK, Monahan FJ, Callan J, Flynn B, et al. (2006b) Effect of refined coconut oil or copra meal on methane output and on intake and performance of beef heifers. *Journal of Animal Science* 84, 162–170. doi: 10.2527/jas.2005-354
- Kaharabata, S.K.; Schuepp, P.; Desjardins, R.L. Estimating Methane Emissions from Dairy Cattle Housed in a Barn and Feedlot Using an Atmospheric Tracer. *Environ. Sci. Technol.*, v.34, n.15 p. 3296-3302, 2000.
- Klieve AV and Joblin K 2007. Comparison in hydrogen utilisation of ruminal and marsupial reductive acetogens. In 5 year research progress report 2002–2007 (ed. R Kennedy), pp. 34–35. The Pastoral Greenhouse Gas Research Consortium, Wellington, New Zealand.
- Lana, R.P.; Russell, J.B., Van Amburgh, M.E. The role of pH in regulating ruminal methane and ammonia production. *J. Anim. Sci.*, v.76, p.2190-2196, 1998.
- Lassey, K.R. Livestock methane emission: From the individual grazing animal through national inventories to the global methane cycle. *Agricultural and Forest Meteorology*, n.142, p.120-132, 2007.
- Le Van, T. D., Robinson, J. A., Ralph, J., Greening, R. C., Smolenski, W. J., Leedle, J. A. Z., and Schaefer, D. M. (1998). Assessment of reductive acetogenesis with indigenous ruminal bacterium populations and *Acetitomaculum ruminis*. *Applied and Environmental Microbiology* 64, 3429-36.
- Lee, S.Y., Lee, S.M., CHO, Y.B., et al. Glycerol as a feed supplement for ruminants: Ruminal degradation rate and in vitro fermentation characteristics



- and methane production In: GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE CONFERENCE. Anais Banff, Canada. p.103-104, 2010.
- Leedle, J. A. Z., and Greening, R. C. (1988). Postprandial changes in methanogenic and acidogenic bacteria in the rumens of steers feed high- or low-forage diets once daily. *Applied and Environmental Microbiology* 54, 502.6.
- López, S., Valdés, C., Newbold, C.J., Wallace, R.J., 1999. Influence of sodium fumarate addition on rumen fermentation in vitro. *Br. J. Nutr.* 81, 59–64.
- Lovett DK, Lovell S, Stack L, Callan J, Finlay M, Conolly J and O'Mara FP 2003. Effect of forage/concentrate ratio and dietary coconut oil level on methane output and performance of finishing beef heifers. *Livestock Production Science* 84, 135–146.
- Lovett DK, Shalloo L, Dillon P, O'Mara FP (2006) A systems approach to quantify greenhouse gas fluxes from pastoral dairy production as affected by management regime. *Agricultural Systems* 88, 156–179. doi: 10.1016/j.agry.2005.03.006
- Machmuller A, Kreuzer M (1999) Methane suppression by coconut oil and associated effects on nutrient and energy balance in sheep. *Canadian Journal Animal Science* 79, 65–72.
- Machmuller A, Soliva CR and Kreuzer M 2003. Methane-suppressing effect of myristic acid in sheep as affected by dietary calcium and forage proportion. *British Journal of Nutrition* 90, 529–540.
- Mackie, R. I., and Bryant, M. P. (1994). Acetogenesis and the rumen: syntrophic relationships. In *Acetogenesis..* (Ed. H. L. Drake.) pp. 331.64. (Chapman and Hall: New York.)
- Maia M. R. G. , Chaudhary L. C., Figueres L. e Wallace R. J. 2007. Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. *Antonie Van Leeuwenhoek* 91, 303–314.
- Martin C, Dubroeuq H, Micol D, Agabriel J and Doreau M 2007. Methane output from beef cattle fed different high-concentrate diets. In *Proceedings of the British Society of Animal Science*, 2–4 April 2007, Southport, UK, p. 46.



- Martin C, Ferlay A, Chilliard Y and Doreau M 2009b. Decrease in methane emissions in dairy cows with increase in dietary linseed content. In Proceedings of the British Society of Animal Science, 30 March–1 April 2009, Southport, UK, p. 21.
- Martin C, Rouel J, Jouany JP, Doreau M e Chilliard Y 2008. Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil. *Journal of Animal Science* 86, 2642–2650.
- Martin S. A. 1998. Manipulation of ruminal fermentation with organic acids: a review. *Journal of Animal Science* 76, 3123–3132.
- Martin, C.; Morgavi, D.P.; Doreau, M. 2009a. Methane mitigation in ruminants: from microbes to the farm scale. *Animal*, 4:3, p. 351-365
- Martin, S.A., Park, C.M., 1996. Effect of extracellular hydrogen on organic acid utilization by the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *Curr. Microbiol.* 32, 327–331.
- McAllister, T.A. et al. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, V.76, p.231-243. 1996.
- McCaughey WP, Wittenberg K and Corrigan D 1999. Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Canadian Journal of Animal Science* 79, 221–226.
- McCourt AR, Yan T, Mayne S and Wallace J 2008. Effect of dietary inclusion of McGinn S. M. , Beauchemin K. A., Coates T, Colombatto D (2004) Methane emissions from beef cattle: effect of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast and fumaric acid. *Journal of Animal Science* 82, 3346–3356.
- McGinn, S. M., et al. Methane emissions from beef cattle: Effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast, and fumaric acid. *Journal of Animal Science*. v. 82, p.3346-3356, 2004.
- McGuffey R. K. , Richardson L. F., Wilkinson J. I. D. (2001) Ionophores for dairy cattle: current status and future outlook. *Journal of Dairy Science* 84(E. Suppl.), E194–E203.



- Morais, J. A. S.; Berchielli, T. T.; Reis, R. A. Aditivos. In: Berchielli, T.T.; Pires, A.V.; Oliveira, S.G. *Nutrição de ruminantes*. Jaboticabal: FUNEP. p.111-140. 2006.
- Morgavi, D.P., Forano, E., Martin, C., Newbold, C.J. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, v.4, n.7, p. 1024-1036. 2010.
- Morvan, B., Doré, J., Rieu-Lesme, F., Foucat, L., Fonty, G., and Gouet, P. (1994). Establishment of hydrogen-utilizing bacteria in the rumen of the newborn lamb. *FEMS Microbiology Letters* 117, 249-56.
- Moss, A.R. *Methane: global warming and production by animals*. Kingston: Chalcombe Publications, United Kingdom, 1993, 105 p.
- Nagaraja TG, Newbold C. J., Van Nevel C. J. and Demeyer D. I. 1997. Manipulation of ruminal fermentation. In The rumen microbial ecosystem (ed. PN Hobson and CS Stewart), pp. 523–632. Blackie Academic & Professional, London, UK.
- Nelson, C.J.; Moser, L.E. Plant factors affecting forage quality. In: FAHEY Jr., G.C. (Ed). Forage quality, evaluation and utilization. Madison: American Society of Agronomy., 1994. p.115-154.
- Nelson, D.L., Cox, M.M., 2000. Lehninger Principles of Biochemistry, third ed. Worth Publishers, New York.
- Neter, J., Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J., Wasserman, W. *Applied Linear Statistical Models*. 4th ed. McGraw-Hill, New York, NY.
- Newbold C.J., Rode L.M. (2006) Dietary additives to control methanogenesis in the rumen. In 'Greenhouse gases and animal agriculture: an update'. Elsevier International Congress Series 1293. (Eds CR Soliva, J Takahashi, M Kreuzer) pp. 138–147. (Elsevier: Amsterdam, The Netherlands).
- Nisbet, D. J.; Martins, S. A. Effect of dicarboxylic acids and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on lactate uptake by ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *Applied and Environmental Microbiology*, 56:3515, 1990.
- O'Kelly, J. C.; Spiers, W. G. Effect of monensin on methane and heat productions of steers fed lucerne hay either ad libitum or at the rate of 250 g/h. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.43, p. 1789, 1992.



- O'Mara FP, Fitzgerald J. J., Murphy J. J., Rath M. (1998) The effect on milk production of replacing grass silage with maize silage in the diet of dairy cows. *Livestock Production Science* 55, 79–87. doi: 10.1016/S0301- 6226(98)00115-8
- O'Mara, F. Greenhouse Gas Production from Dairying: Reducing Methane Production. *Advances in Dairy Technology*, v.16, p.295-309, 2004.
- Odongo N. E. , Bagg R, Vessie G., Dick P., Or-Rashid MM, *et al.* 2007. Long-term effects of feeding monensin on methane production in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90, 1781–1788.
- Oliveira, S. G.; Berchielli, T. T.; Pedreira, M. S. *et al.* 2006. Effect of tanin levels in sorghum silage and concentrate supplementation on apparent digestability and methane emission in beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 135 (2007) 236–248
- Owens, F. N.; Goetsch, A.L. Ruminal fermentation. In: Church, D.C. (Ed) *The ruminant animal: digestive physiology and nutrition*. Waveland Press, 1988. p.145-171.
- Pedreira, M. S.; Oliveira, S.G.; Berchielli, T.T.; Primavesi, O. Aspectos relacionados com a emissão de metano de origem ruminal em sistemas de produção de bovinos. *Archives of Veterinary Science*, v. 10, n. 3, p. 24-32, 2005.
- Pressman, B. C. Ionophorus antibiotics as model for biological transport. *Fedding Process.*, v. 27, p. 1283-1288, 1976.
- Primavesi, O., Frighetto, R.T.S., Pedreira, M.S., Lima, M.A., Berchilelli, T.T., Barbosa, P.F. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. V.39, n.3, p.277-283, 2004.
- Primavesi, O.; *et al.* *Manejo alimentar de bovinos leiteiros e sua relação com produção de metano ruminal*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004. 21p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 39).
- Reynolds, C.K., Humphires, D.J., KIRTON, P., *et al.* Methane production by lactating dairy cows fed diets containing allicin, glycerol or naked oats. In: GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE CONFERENCE. Anais Banff, Canada. p.103-104, 2010.



- Robertson L. J. and Waghorn G. C: 2002. Dairy industry perspectives on methane emissions and production from cattle fed pasture or total mixed rations in New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Society Animal Production* 62, 213–218.
- Rodrigues, G.S.; Campanhola, C.; Kitamura, P.C. Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: Ambitec-Agro. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. 93p. (Embrapa Meio Ambiente, Documentos, 34).
- Rodrigues, G.S.; Campanhola, C.; Kitamura, P.C. Irias, I.J.M.; Rodrigues, I. Sistema de avaliação de impacto social da inovação tecnológica agropecuária: Ambitec-Social. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 31p. (Embrapa Meio Ambiente, Boletim de Pesquisa, 35).
- Rodriguez, N. M.; Campos, W. E. 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.
- Rouviere, P.E.; Wolfe, R.S. Novel biochemistry of methanogenesis. *Journal of Biological Chemistry*, Stanford, v.263, p.7913-7916, 1988.
- Rumpler, W. V. et al. The effect of high dietary cation concentration on methanogenesis by steers fed diets with and without ionophores. *Journal of Animal Science*, v.62, p.1737, 1986.
- Russel, J. B., Strobel, H. J. Effects of additives on *in vitro* ruminal fermentation: a comparison of monensin and bacitracin, another gram-positive antibiotic. *J. Anim. Sci.*, v. 66, p. 552-558, 1988.
- Russel, J. B.; Strobel, H. J. Minireview. Effect of ionóforos on ruminal fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, p. 1-6, 1989.
- Sarvanan TS (2000) Effect of bromochloromethane on methanogenesis, nutrient utilization and growth rate of lambs. MVSc Thesis, Indian Veterinary Research Institute, Izatnagar, India.



- Sauer FD, Fellner V, Kinsman R, Kramer JKG, Jackson HA, *et al.* (1998) Methane output and lactation response in Holstein cattle with monensina or unsaturated fat added to the diet. *Journal of Animal Science* 76, 906–914.
- Smedman, A., Lindmark-Mansson, H., Drewnowski, A., Edman, A.K.M. 2010. Nutrient density of beverages in relation to climate impact. *Food & Nutrition Research*. 54, p.5170.
- Soliva C. R., Meile L., Cieslak A., Kreuzer M. and Machmuller A. 2004. Rumen simulation technique study on the interactions of dietary lauric and myristic acid supplementation in suppressing ruminal methanogenesis. *British Journal of Nutrition* 92, 689–700.
- Stagno, J.A., Chaves, A.V., Hernandez-Calva, L.M., *et al.* Effects of replacing barley in feedlot diets with increasing levels of glycerol on in vitro methane production. In: GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE CONFERENCE. Anais Banff, Canada. p.53-54, 2010.
- Thorpe, A. Enteric fermentation and ruminant eructation: the role (and control?) of methane in the climate change debate. 2009. *Climatic Change*, n.3, p.407-431.
- Tiemann T.T., Lascano C.E., Wettstein H.R., Mayer A.C., Kreuzer M and Hess HD 2008. Effect of the tropical tannin-rich shrub legumes *Calliandra calothyrsus* and *Flemingia macrophylla* on methane emission and nitrogen and energy balance in growing lambs. *Animal*, n.2, p.790–799.
- Ulyatt MJ, Lassey K.R., Shelton I.D., Walker, C. F. (2002) Methane emission from dairy cows and wether sheep fed subtropical grass-dominant pastures in midsummer in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 45, 227–234.
- United States Environmental Protection Agency - USEPA. Evaluating Ruminant Livestock Efficiency Projects and Programs In: PEER REVIEW DRAFT. Washington, D.C, 2000, 48p.
- Van der Honing Y, Tamminga S, Wieman B. J., Steg A., van Donselaar B. and Van Gils L. G. M. 1983. Further studies on the effect of fat supplementation of



- concentrates fed to lactating cows. 2. Total digestion and energy utilization. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 31, 27–36.
- Van Soest, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1994. 476p.
- Van Vugt S. J., Waghorn G. C., Clark D. A., Woodward SL (2005) Impact of monensin on methane production and performance of cows fed forage diets. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 65, 362–366.
- Waghorn G. C. 2007. Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production: progress and challenges. *Animal Feed Science and Technology* 147, 116–139.
- Wallace RJ, Wood TA, Rowe A, Price J, Yanez DR, Williams SP, Newbold CJ (2006) Encapsulated fumaric acid as a means of decreasing ruminal methane emissions. *International Congress Series* 1293, 148–151. doi: 10.1016/j.ics.2006.02.018
- Wallace, J. Ruminal microbiology, biotechnology and ruminant nutrition: progress and problems. *Journal of Animal Science*, 72:2992, 1994.
- Wallace, R. J.; Czerkawski, J. W.; Breckenridge, G. Effect of monensin on the fermentation of basal rations in the simulation technique (Rusitec). *British Journal of Nutrition*, 114:101, 2002
- Weimer P. J. 1998. Manipulating ruminal fermentation: a microbial ecological perspective. *Journal of Animal Science* 76, 3114–3122.
- Witten, I. H., Frank, E., *Data mining: practical machine learning tools and techniques*. 2 ed. San Francisco, Morgan Kaufmann Publishers, 2005.
- Wolin, M. J.; Miller, T.L. Microbe-microbe interactions. In: Hobson, P.N. (Ed.) *The rumen microbial ecosystem*. New York: Elsevier, 1988. p.343-359.
- Wolin, M. J.; Miller, T.L.; Stewart, C.S. Microbe-microbe interactions. In: HOBSON, P.N.; STEWART, C.S. *The rumen microbial ecosystem*. London: Blackie Academic & Professional. p.467-491. 1997.
- Woodward S. L., Waghorn G. C. and Thomson N. A. 2006. Supplementing dairy cows with oils to improve performance and reduce methane – does it work? *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 66, 176–181.



I Workshop sobre Ciência Animal na Bahia
Ilhéus, BA – UESC, 20 a 22 de outubro de 2010
*Inovações científico-tecnológicas e os desafios para
Ciência Animal nos trópicos*



Woodward, S. L. *et al.* Early indications that feeding *Lotus* will reduce methane emissions from ruminants. In Proceeding of New Zealand Society of Animal Production, 61:23, 2001.

I WORKSHOP SOBRE CIÊNCIA ANIMAL NA BAHIA



CD de RESUMOS



B A H I A

