



I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES NO CERRADO

***“Sustentabilidade do
Sistema Produtivo”***

15 a 16 de Março de 2012

Editores:

Gilberto de Lima Macedo Junior

Manoel Eduardo Rozalino Santos

Leandro Martins Barbero

Janine França

Isabel Cristina Ferreira

UBERLÂNDIA

Uso da nutrição para redução na geração de metano: Eficiência no uso da energia para ruminantes x meio ambiente

Mario Luiz Chizzotti¹, Luiz Gustavo Ribeiro Pereira², Fernanda Helena Martins Chizzotti³, Marcio Machado Ladeira¹, Otávio Rodrigues Machado Neto¹

¹ Universidade Federal de Lavras- mariochizzotti@dzo.ufla.br;

² Embrapa Gado de Leite, projeto RumenGases Brasil;

³ Universidade Federal de Viçosa.

1. Introdução

Atualmente, ao redor do mundo tem sido crescente a discussão sobre o acúmulo de gases causadores do efeito estufa (GEE) na atmosfera, sendo que o aumento destes tem sido considerado como uma das principais causas do aquecimento global. Dentre os gases do efeito estufa, o CO₂, o CH₄ e o N₂O são os mais importantes no âmbito da atividade agropecuária. Apesar das concentrações de metano e óxido nítrico na atmosfera serem menores que a de CO₂, esses gases apresentam potencial de aquecimento 23 e 296 vezes maior em relação ao CO₂, respectivamente (Snyder et al., 2008). Neste contexto, a agricultura nacional, especialmente a pecuária bovina brasileira tem sido alvo de inúmeras críticas relacionadas ao aquecimento global. Atualmente o país possui o maior rebanho comercial bovino, com 171,6 milhões de cabeças (IBGE, 2009) e detém, aproximadamente, 20 % do mercado externo da carne (USDA, 2009). As críticas têm sido fundamentadas no desflorestamento para expansão de pastagens e nos baixos índices zootécnicos verificados em sistemas de exploração bovina que atualmente ocorre baseado 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, 2006).

Segundo BRASIL (2010), a emissão total de CO₂ estimada para o ano de 2005 foi de 1.638 Tg (Tg = Teragrama 10¹² gramas). Deste total, 77% é creditado ao Setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas, seguida do Setor Energia. A produção de CH₄ atingiu neste mesmo ano um total de 18,1 Tg (432 Tg de equivalente CO₂) sendo o Setor Agropecuário responsável por 70% das emissões totais, seguido pelo Setor Mudança de Uso da Terra e Florestas. As emissões de N₂O, por sua vez, foram estimadas em 0,546 Tg (161 Tg de equivalente CO₂), advindas em sua maioria do Setor Agropecuário, que responde por 87% do total das emissões. As emissões de N₂O dos solos agrícolas contabilizaram 84% incluindo, entre outras, as emissões de animais em pastagem, que representam 40% do total.

De acordo com Armstrong (2009), a demanda mundial por alimentos deve aumentar em 100% até 2050, impulsionada pelo aumento da população mundial para mais de 9 bilhões de pessoas e pelo crescimento econômico, principalmente da China,

Índia, Europa Oriental e América Latina. Ademais, aproximadamente 20% deste aumento da demanda por alimentos será suprida pela expansão da fronteira agrícola e outros 10% poderá vir do aumento do número de safras agrícolas. No entanto, os 70% restantes, devem ser provenientes de uma maior eficiência graças ao uso de tecnologia.

Assim, a redução da idade de abate e a maior produtividade por área são fundamentais para possibilitar o aumento da disponibilidade da carne bovina sem promover aumento proporcional no impacto ambiental gerado por esta atividade.

Neste contexto, este trabalho abordará temas relacionados às estratégias para redução do impacto ambiental da pecuária de corte com ênfase na nutrição dos animais.

2. Produção de metano

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 de gases (CO_2 e CH_4), eliminados por meio da eructação e respiração (Martin et al., 2009).

O metano apresenta potencial de aquecimento global 23-25 vezes maior que o CO_2 e o tempo de vida na atmosfera é 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 fermentação entérica dos ruminantes contribui com 22% da produção mundial, representando 3,3% do total dos GEE (USEPA, 2000). O metano entérico é derivado da atividade das *Archaea* metanogênicas (gêneros *Methanobrevibacter*, *Methanobacterium*, *Methanomicrobium* e *Methanosarcina*), um grupo microbiano distinto das *Eukarya* (protozoários e fungos) e *Bacteria*, possuindo cofatores (coenzima M, F420 e F430) e lipídeos (ésteres de isopranoil glicerol) únicos. As bactérias metanogênicas são extremamente importantes para o funcionamento normal do rúmen e manutenção da fermentação, apesar de responderem por pequena parte da biomassa microbiana ruminal (Janssen & Kirs, 2008). O excesso de H_2 produzido no rúmen é utilizado pelas bactérias metanogênicas para reduzir CO_2 e formar CH_4 o que recicla o NAD oxidado e permite a continuidade das vias fermentativas (Kozloski, 2002). De acordo com o balanço estequiométrico, a produção de acetato e butirato promovem maior produção de CH_4 pela maior produção de H_2 (Tedeschi et al., 2003). Ainda que nenhuma das bactérias e protozoários que fermentam carboidratos produzam metano, muitos deles produzem formato, H_2 e CO_2 como produtos finais e, posteriormente, bactérias metanogênicas podem transformar H_2 e CO_2 em metano. O formato quando convertido em H_2 e CO_2 , gera energia para as metanogênicas. Entretanto, o formato é menos importante como precursor do metano do que o H_2 , contribuindo com aproximadamente 18% da produção (Hungate et al., 1970). Outros substratos utilizados para formação de metano são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Substratos utilizados para a metanogênese.

Substratos	Equações
H ₂ e CO ₂	$4\text{ H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$
Formato	$4\text{ HCO}_2\text{H} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{ H}_2\text{O}$
Metanol	$4\text{ CH}_3\text{OH} \rightarrow 3\text{ CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{ H}_2\text{O}$
Metanol e H ₂	$\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$
Metilamina	$4\text{CH}_3\text{NH}_2\text{Cl} + 2\text{ H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{ CH}_4 + \text{CO}_2 + 4\text{ NH}_4\text{Cl}$
Dimetilamina	$2\text{ (CH}_3)_2\text{NHCl} + 2\text{ H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{ CH}_4 + \text{CO}_2 + 4\text{ NH}_4\text{Cl}$
Trimetilamina	$4\text{ (CH}_3)_3\text{NHCl} + 6\text{ H}_2\text{O} \rightarrow 9\text{ CH}_4 + 3\text{ CO}_2 + 4\text{ NH}_4\text{Cl}$
Acetato	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$

Adaptada de Wolin et al. (1997).

Os bovinos perdem aproximadamente de 3 a 7% da energia bruta dietética através do metano eructado. Diversas pesquisas têm sido realizadas objetivando reduzir as emissões de metano não apenas para tornar o processo de produção de alimentos mais eficiente, mas também para contribuir com a redução do aquecimento global (Johnson & Johnson, 1995). A produção de metano é dependente da quantidade de alimento consumido, e modulado pela digestibilidade do alimento e por características relacionadas ao animal (Pelchen & Peters, 1998).

A emissão de metano também ocorre pela fermentação das fezes no ambiente, embora essa emissão seja bem inferior à produção entérica. A emissão de metano pela degradação fecal é variável em função do manejo do dejetos, com maiores taxas de emissão para dejetos oriundo de confinamento em relação ao dejetos depositado diretamente nas pastagens.

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 CH₄ de 3% da EB ingerida e; 2) Dietas com menos de 90% de concentrado: taxa de conversão de CH₄ de 6,5% da EB ingerida. Isto pode não estar condizente com as condições observadas nos sistemas de produção de ruminantes instalados no Brasil, uma vez que apenas um pequeno número de confinamentos utiliza dietas com mais de 90% de concentrado. Portanto, a amplitude de 0 a 90% de concentrado para estimar a emissão de metano por bovinos é pouco específica para a maior parte do manejo no rebanho de ruminantes no país (Machado et al., 2010).

3. Produção de óxido nitroso

O óxido nitroso é produzido naturalmente nos solos pelo processo de nitrifi-

cação e denitrificação. A nitrificação é um processo microbiano aeróbico que converte amônio em nitrato, enquanto a denitrificação é um processo anaeróbico, onde o nitrato é reduzido ao gás nitrogênio (N_2). O óxido nitroso é um gás intermediário da reação de denitrificação e um subproduto da nitrificação que escapa da célula microbiana para o solo e do solo para atmosfera. O principal determinante da sua emissão é disponibilidade de N inorgânico. Sendo assim, sua emissão é estimada em função da adição antrópica de N no solo (fertilizantes), pelo depósito de dejetos (urina e fezes), pela presença de resíduos de colheita no solo, e pela mineralização do N da matéria orgânica do solo em condições de alagamento ou mudança de uso do solo (conversão de floresta em pastagem ou culturas) (IPCC, 2006).

A emissão de óxido nitroso pela decomposição de dejetos é altamente variável e dependente do manejo aplicado ao dejetos. A quantidade de nitrogênio presente nas excretas determina a quantidade de óxido nitroso que será formado enquanto o manejo do dejetos determina qual a porcentagem do N presente no dejetos que será convertido em óxido nitroso.

O IPCC (2006) considera uma emissão direta de 0,02 kg de $N-N_2O$ por kg de N presente no dejetos de bovinos mais uma emissão indireta de 0,2 kg de N por kg de N depositado em pastagens.

Em rebanhos leiteiros, de 20 a 30% do nitrogênio consumido diariamente encontram-se na proteína do leite e na carne produzida, sendo o restante excretado pelas fezes e urina (Dou et al., 1996; Kohn et al., 1997; Oenema et al., 2001). De acordo com Hutchings et al. (1996) a eficiência de uso do nitrogênio em bovinos de corte é ainda menor, cerca de 10%. Essa baixa eficiência de conversão do N da dieta em proteína do leite ou músculo pode ser resultante da extensa degradação da proteína no rúmen, com altas taxas de produção e absorção de amônia, da interação do N com a fonte de carboidrato para um ótimo crescimento microbiano e do metabolismo pós-absorção do animal. Dessa forma, uma dieta com excesso de proteína resultará em maiores custos com alimentação além do aumento na excreção de N e assim como maiores quantidades de óxido nitroso serão emitidas, contribuindo para o aquecimento global.

4. Estratégias nutricionais para mitigação de gases de efeito estufa

4.1. Qualidade do volumoso

Segundo Paulino et al. (2008), a produção de metano por ruminantes (gramas de metano por kg de MO digestível), aumenta com a idade de rebrota, em decorrência do incremento de material lignocelulósico. Práticas de manejo das pastagens que melhoram a produtividade do pasto e a qualidade da forragem produzida podem reduzir significativamente as emissões de metano entérico, além de potencializar o sequestro de carbono pelo sistema radicular.

Dietas contendo maiores quantidades de carboidratos solúveis levam a um menor pH ruminal do que dietas contendo preferencialmente forragens maduras.

que, aliado às maiores taxas de fermentação, podem inibir bactérias metanogênicas e protozoários ciliados, aumentando assim a produção de propionato (Van Kessel & Russel, 1995).

Em trabalho desenvolvido com bovinos da raça Brahman, Kurihara et al. (1999) forneceram três tipos de dietas: feno de baixa qualidade, feno de alta qualidade, ou dieta rica em grãos. Os autores observaram maior ingestão de matéria seca (MS) para as dietas de feno de alta qualidade e dieta rica em grãos (7,07 e 7,31 kg/d, respectivamente), sendo que o menor consumo foi observado nos animais que receberam a dieta com feno de baixa qualidade (3,58 kg/d). O maior consumo acarretou em maiores produções diárias de metano (g/dia), porém ao avaliar a produção em gramas de metano por kg de MO digestível (g/kgMOD), observou-se emissões de 75,4, 64,6 e 32,1 g de CH₄/KgMOD, para feno de baixa qualidade, alta qualidade e dieta à base de grãos, respectivamente. Os autores reportaram que o feno de baixa qualidade resultou em emissão 16% superior em relação ao feno de alta qualidade, o que indica a possibilidade de diminuição na emissão de metano pela melhoria da qualidade do volumoso utilizado.

Demarchi et al. (2003a), ao avaliarem a emissão de metano de bovinos Nelore pela técnica do gás traçador SF₆, pastejando B. brizantha, verificaram efeito significativo na emissão de metano média entre as diferentes estações do ano, sendo que a principal causa relacionada a este fato foram as diferenças qualitativas da forragem ingerida, possivelmente relacionada a digestibilidade da MS e da FDN ingerido.

Diante do exposto, conclui-se que a colheita de forragem pelo animal em pastejo ou o corte para conservação da mesma deve ser realizado quando a planta apresenta maior valor nutritivo, o que colabora para a melhoria do desempenho e consequentemente redução do ciclo de produção e possibilita a diminuição da emissão de gases do efeito estufa.

4.2. Utilização de concentrado e produção de metano.

A utilização de grãos de cereais na alimentação de ruminantes deprime a produção de metano (Blaxter, 1962) e o acúmulo de amônia no ambiente ruminal (Annison, 1956), sendo estes efeitos explicados pela habilidade das bactérias fermentadoras de amido em produzir propionato e assimilar amônia, respectivamente. O fornecimento de grãos de cereais também pode reduzir o pH ruminal (Slyter, 1976) e diversos experimentos *in vitro* indicam menores produções de metano e amônia quando o pH ruminal é inferior a 6,0 (Machado et al, 2010).

Doreau et al. (2011) avaliaram o efeito do nível de concentrado na fase de terminação sobre a produção de metano por bovinos de corte. Foram utilizados três tratamentos dietéticos tipicamente utilizados em sistemas de produção de gado de corte na França, onde a primeira dieta apresentava feno de gramínea como volumoso exclusivo em 49% da MS dietética, além de milho moído (41% da MS) e farelo de soja (10% da MS). Já o segundo tratamento consistia na utilização de silagem de milho como volumoso (63% da MS) além de milho moído (21% da MS) e farelo de

soja (16%). Por fim, a terceira dieta apresentava maior proporção de concentrado (milho moído em 70% da MS), farelo de soja (16% da MS) e palhada de trigo (14% da MS). Foi verificado que os animais submetidos à terminação com maior proporção de grãos na dieta apresentaram menor produção total de metano (entérico e no esterco), ao passo que estas também foram responsáveis pela maior excreção de N_2O e CO_2 .

Está bem estabelecido na literatura que a medida que se aumenta o teor de concentrado das dietas, ocorrem decréscimos na produção de CH_4 . Sauvante & Giger-Reverdin (2007) por meio de uma meta-análise, observaram uma relação curvilínea entre a produção de CH_4 e o nível de concentrado da dieta. Estes autores observaram que baixíssimas emissões de metano eram detectadas quando os animais eram alimentados com dietas contendo mais que 70% de concentrado, como observado por Blaxter & Wainman (1964) e mais recentemente por Lovett et al. (2003). As dietas com alta proporção de concentrado resultam em um menor pH ruminal (Van Kessel & Russell, 1996) que é resultado da maior produção de ácidos graxos voláteis, redução da motilidade ruminal, menor taxa de diluição do conteúdo ruminal, uma baixíssima população de protozoários (Martin et al., 2010) e uma reduzida atividade fibrolítica (Martin et al., 2002), eventos que de maneira conjunta, promovem o decréscimo na produção de metano entérico.

4.2.1 Ionóforos

Aditivos alimentares também têm sido incluídos em dietas de ruminantes em pastejo ou confinamento, com o objetivo de melhorar o desempenho em termos de eficiência alimentar além de poder colaborar para a redução das emissões de metano entérico. Dentre estes aditivos, destaca-se a monensina sódica, utilizada em dietas para bovinos de corte confinados nos Estados Unidos desde 1976 e para bovinos em pastejo desde 1978.

Segundo Santos (2011), uma das ações da monensina é que ela reduz a metanogênese ruminal, alterando o metabolismo de “C” para outros produtos finais que não o metano. Por meio da ação dos ionóforos sobre os microrganismos ruminais, estes são capazes de produzir benefícios aos ruminantes, como: a) aumentar a eficiência do metabolismo energético das bactérias e/ou do animal; b) melhorar o metabolismo do nitrogênio pelas bactérias e/ou animal; e retardar desordens digestivas. O principal efeito deste aditivo é manipular a fermentação ruminal, aumentando a formação de propionato e diminuindo a formação de metano (Lascaro & Cárdenas, 2010). Dessa forma melhora-se a eficiência energética, tanto dos micro-organismos do rúmen quanto do próprio animal, podendo refletir em melhorias nas características de desempenho e carcaça. Como pode ser observado no estudo de Nagaraja et al. (1997), houve um aumento de 5% na eficiência energética animal com o uso da monensina, em virtude da maior energia retida, ocasionada pela maior produção de propionato e menor formação de metano.

Entretanto, a inibição da metanogênese pela monensina parece não ser sustentada por longos períodos, provavelmente devido à habilidade de adaptação da microflora ruminal. 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 de utilização desse aditivo, o que indica que a redução na produção de metano ocorre apenas em curtos períodos após o início da administração da monensina e que esse efeito não é prolongado.

4.2.2. Taninos

Os taninos são substâncias polifenólicas com variados pesos moleculares, sendo classificados em 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 potencialmente 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 destes. 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).

Mezzomo (2010) realizou um experimento com o objetivo de avaliar o efeito da suplementação de 0,4% de taninos condensados sobre alguns parâmetros ruminais de bovinos de corte alimentados com dieta contendo 87% de concentrado. O autor observou que os valores de nitrogênio uréico na urina e nitrogênio total na urina foram menores com a inclusão de taninos condensados. Dessa forma o desperdício de nitrogênio foi diminuído, otimizando a utilização do nitrogênio no ambiente ruminal e colaborando para a redução da excreção de nitrogênio no meio ambiente. Entretanto, embora a produção de metano não tenha sido mensurada nesta pesquisa, alguns pesquisadores tem relatado efeito positivo da suplementação com taninos condensados sobre a excreção de metano entérico (Woodward *et al.*, 2001; Makkar., 2003 e Moraes *et al.*, 2006).

Tiemann *et al.* (2008) observaram que a inclusão de leguminosas com elevados teores de tanino (*Callinadra calothyrsus* e *Fleminga macrophylla*) provocou diminuição na emissão de metano por carneiros em até 24%, mas esse efeito foi associado à redução na digestibilidade da matéria orgânica e da fibra. Carneiros recebendo “Gamberin”, um produto contendo 49% de tanino condensado (extrato solidificado das folhas de *Uncaria gambir*), apresentaram significativa redução na perda de energia como metano (% da EB) e queda de 75% no número de protozoários ciliados (SARVAN, 2000)

4.2.3. Lipídeos

Outra estratégia que possibilita a redução da emissão de gases de efeito estufa por ruminantes é a inclusão de suplementos lipídicos. A presença de lipídios insaturados em rações pode proporcionar efeitos desejáveis, como inibição da produção de metano e amônia no rúmen (Van Soest & Demeyer, 1988; Harfoot & Hazlewood, 1997). Alguns trabalhos têm relatado ainda efeitos benéficos da inclusão de ácidos graxos saturados de cadeia média em dietas de vacas leiteiras, em deprimir a população ruminal de protozoários e *Archeas* metanogênicas (Machmüller et al., 1999; Dohme et al., 1999; Faciola et al., 2004; Hristov et al., 2009).

Animais ruminantes tipicamente são submetidos a dietas com baixa inclusão de lipídeos, entretanto o interesse na suplementação de tal nutriente na nutrição desses animais tem sido crescente ao longo dos últimos anos. O aumento do interesse no estudo deste nutriente é resultado do conceito de que a manipulação da dieta via suplementação com lipídeos é uma forma de influenciar uma variedade de processos fisiológicos ou alterar o perfil de ácidos graxos de produtos alimentícios derivados de ruminantes (Ladeira et al., 2011). Outra razão para a realização da suplementação com gordura em dietas de ruminantes é o aumento da concentração energética da dieta. Ácidos graxos produzem mais energia do que outros nutrientes orgânicos quando metabolizados pelo animal.

Segundo o NRC (1982) o valor energético de fontes lipídicas é 2,25 vezes superior aos cereais. Outro benefício da suplementação com gorduras é a melhoria na eficiência de síntese microbiana, que normalmente é uma consequência da depressão de protozoários no rúmen (Ikwegbu & Sutton, 1982; Sutton et al., 1983) os quais são predadores de bactérias. A ação de protozoários reduz a biomassa bacteriana livre no conteúdo ruminal (Hsu et al., 1991), aumenta a reciclagem intra-ruminal e perda de nitrogênio pelo hospedeiro, além de reduzir o fluxo de proteína microbiana para o intestino delgado, tanto pela redução da população bacteriana, quanto pela retenção dos protozoários no rúmen.

Reduções na produção de metano entérico têm sido frequentemente relatadas na literatura como consequência da inclusão de uma variedade de óleos vegetais em dietas de ruminantes. (Czerkawski et al., 1966; Machmüller et al., 1998; Jordan et al., 2004). Óleos ricos em ácidos graxos saturados de cadeia média (óleo de coco, por exemplo), têm produzido expressiva redução na excreção de metano entérico, seguidos pelos ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (Machmüller et al., 1998).

Hristov et al. (2009), ao avaliarem o efeito da inclusão de ácido láurico e óleo de coco (que contém 45% de ácido láurico e 18% de ácido mirístico), verificaram que o óleo de coco tendeu a reduzir a concentração total de ácidos graxos voláteis no fluido ruminal. Além disso, o ácido láurico e o óleo de coco reduziram a concentração ruminal de butirato, aumentaram a concentração de propionato e diminuíram a relação acetato/propionato. Não foi observado efeito dos tratamentos para a concentração ruminal de acetato, ácidos graxos de cadeia ramificada e valerato. Os autores

também avaliaram o efeito dos tratamentos sobre a produção de metano (grama/hora) e verificaram que o óleo de coco foi efetivo em deprimir a produção deste gás, não havendo diferença entre o grupo controle e o suplementado com ácido láurico, que produziram quantidades bastante superiores de metano. Segundo os autores, o ácido mirístico parece potencializar o efeito mitigador da produção de metano do ácido láurico.

Dohme et al. (1999) avaliaram o papel dos protozoários ciliados ruminais na supressão da produção de metano causada pelo óleo de coco. Os tratamentos experimentais consistiam em óleo de coco ou gordura inerte no rúmen com a utilização de rúmen faunado ou defaunado (fatorial 2 x 2), utilizando a técnica RUSITEC (rúmen artificial). Foi verificado que a defaunação reduziu a produção de metano em aproximadamente 40% independentemente da dieta. Com a inclusão de óleo de coco, a produção de metano declinou gradualmente (mais lentamente do que a defaunação) tanto em animais faunados quanto em defaunados. Independente da condição ruminal (presença ou ausência de protozoários) a população ruminal de metanogênicas foi deprimida pelo óleo de coco. Estes resultados, segundo os autores, sugerem que o óleo de coco tem potencial para deprimir a metanogênese independente da condição ruminal. Em outra pesquisa com a técnica de rúmen artificial, Dohme et al. (2001) avaliaram o efeito de sete diferentes ácidos graxos sobre a fermentação ruminal: ácido caprílico (C8:0), ácido cáprico (C10:0), ácido láurico (C12:0), ácido mirístico (C14:0), ácido palmítico (C16:0), ácido esteárico (C18:0) e ácido linoléico (C18:2). A produção de metano e a população de bactérias metanogênicas foi suprimida pelos ácidos C12:0, C14:0 e C18:2, enquanto os ácidos graxos C8:0, C10:0, C16:0 e C18:0 não tiveram efeito sobre estas variáveis.

Jordan et al. (2006) realizaram um experimento com o objetivo de avaliar o efeito do fornecimento de óleo de soja refinado ou soja integral sobre a produção de metano entérico em dietas com 90% de concentrado. Foi verificado que os animais submetidos à dieta controle (sem suplementação lipídica) produziram 137,8 litros de metano/dia, ao passo que os animais que receberam óleo de soja refinado ou grão de soja integral produziram 103 e 83,9 litros de metano/dia, respectivamente. Segundo os autores, a redução observada pode ser consequência do efeito tóxico dos ácidos graxos poli-insaturados sobre os protozoários ruminais e bactérias metanogênicas, da alteração da concentração molar de acetato e propionato, ou da combinação destes fatores. Ademais, os ácidos graxos poli-insaturados têm a capacidade de aderir à superfície da bactéria e dificultar a captação de nutrientes pela mesma (Henderson, 1973).

4.2.4. Óleos essenciais

Os óleos essenciais são uma mistura de terpenóides aromáticos, líquidos e lipofílicos (Kohlert et al., 2000), obtidos a partir de diferentes partes da planta, tais como, folhas, raízes, caule ou mais de uma parte, sendo que a melhor tecnologia para extração destes óleos é por destilação à vapor, quando comparadas às extrações com

metanol ou hidróxi-acetona (Burt, 2004). Dos principais óleos essenciais destacam-se o timol, presente no tomilho (*Thymus vulgaris*) e no orégano (*Origanum vulgare*), o limoneno, obtido a partir da polpa cítrica e o guaiacol, extraído da resina do guaiaco ou do óleo-do-cravo-da-índia (Castillejos et al., 2005). A maior parte da atividade antimicrobiana dos óleos essenciais parece estar associada aos compostos fenólicos (Simões & Spitzer, 2000). A utilização dos óleos essenciais está fundamentada na redução do número de bactérias gram-positivas, com consequente aumento da produção de ácido propiônico, além do estímulo à produção de bactérias consumidoras de ácido láctico, o que reduziria os riscos de distúrbios digestivos, como a acidose ruminal. Este efeito antimicrobiano está relacionado, principalmente, à alteração da permeabilidade e integridade da membrana celular bacteriana (Lambert et al., 2001).

Patra et al. (2010) avaliaram *in vitro* o efeito de alguns extratos naturais de plantas (cravo-da-índia, erva-doce, cebola, alho e gengibre) sobre a metanogênese. Os autores verificaram que os extratos obtidos a partir de erva-doce, cravo e alho, na dose de 0,5 mL, inibiram a produção de metano. O extrato obtido a partir do alho, na dose de 0,5 mL reduziu a relação acetato:propionato. Os autores também verificaram redução no número total de protozoários, pequenos entodínomorfos e holotríquios com a utilização do extrato de cravo-da-índia.

Com relação ao metabolismo do nitrogênio, Busquet et al. (2006) observaram que muitos óleos essenciais (extraídos da erva-doce, pimenta, gengibre, cravo-da-índia, alho e canela) e seus principais componentes (carvacrol, eugenol, carvona, cinamaldeído e anetol) inibiram significativamente a concentração de amônia quando utilizados em altos níveis (3.000 mg/L). Entretanto, os autores afirmam que os resultados foram marginais com doses moderadas (300 mg/L) e ausentes com baixos níveis (3 mg/L).

O grande empecilho à utilização de óleos essenciais reside no alto custo desse aditivo, pois na maior parte dos casos não há retorno econômico favorável para sua adoção o que inviabiliza a sua utilização em larga escala.

5. Eficiência animal na mitigação de gases de efeito estufa

5.1. Eficiência alimentar

Conforme já discutido acima, a produção de metano é diretamente proporcional à ingestão de matéria seca. Diversos autores reportam alta correlação da produção de metano diária com o consumo de matéria seca e utilizam essa última como variável preditora da produção de metano (Mills et al., 2003; Elis et al., 2007; Elis et al., 2009). Na figura 1 são apresentadas estimativas da produção de metano em função do consumo de matéria seca.

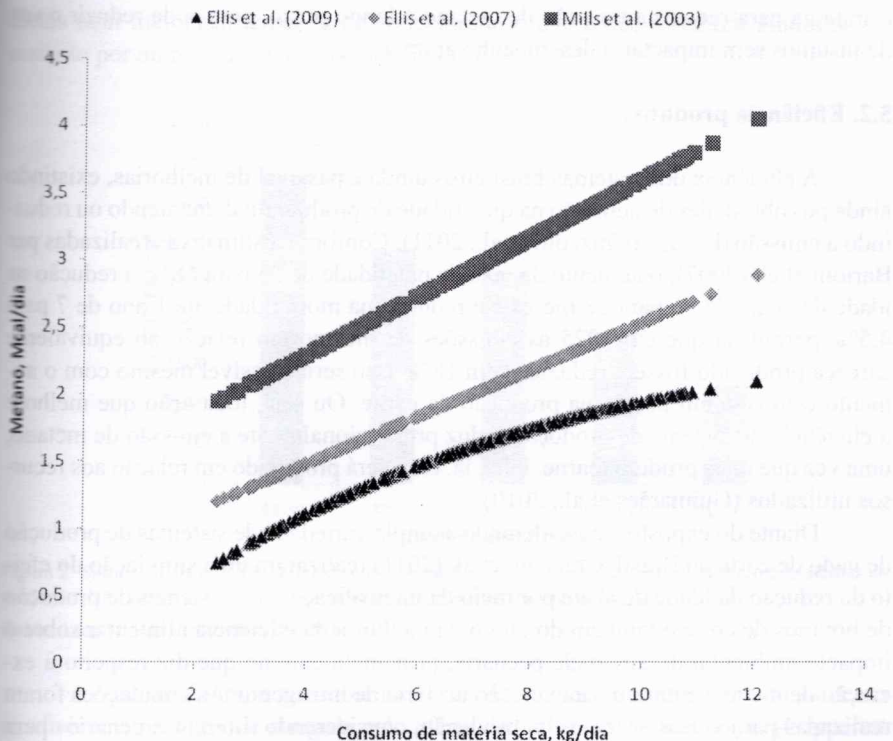


Figura 1. Perda de energia na forma de metano em função do consumo de matéria seca de bovinos.

Dessa forma, fica claro que uma redução no consumo de matéria seca acarretará em menor produção diária de metano, pois haverá menos substrato para fermentação e consequentemente menor produção de metano. O problema é que ao se reduzir o consumo, normalmente o desempenho animal também é afetado, diminuindo a produção e impactando negativamente a produção de metano por quilo de carne produzida ou a pegada de carbono do produto.

Entretanto, é possível reduzir o consumo sem afetar o desempenho por meio da identificação de animais mais eficientes.

Koch et al. (1963) propuseram o conceito de Consumo Alimentar Residual – CAR (*Residual Feed Intake*), que é definido como sendo a diferença entre o consumo de matéria seca observado e o consumo de matéria seca predito em função da taxa de ganho de peso observada e do peso metabólico do animal.

Bovinos com baixo CAR (eficientes) comem menos que o esperado para um dado peso corporal e desempenho, em relação a seus pares ineficientes. Adicionalmente, o menor consumo por animais eficientes resulta em menor produção fecal e, por consequência, menor emissão resultante da degradação de dejetos.

Dessa forma, a seleção de animais para baixo CAR pode ser considerada uma

estratégia para reduzir a emissão de metano a longo prazo, pois pode reduzir o uso de insumos sem impactar o desempenho animal.

5.2. Eficiência produtiva

A eficiência dos sistemas brasileiros ainda é passível de melhorias, existindo ainda possibilidades de aumento na quantidade de produto final, mantendo ou reduzindo a emissão de GEE (Chizzotti et al., 2011). 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).

Diante do exposto e considerando a ampla variedade de sistemas de produção de gado de corte no Brasil, Chizzotti et al. (2011) realizaram uma simulação do efeito da redução da idade de abate por meio da intensificação dos sistemas de produção de bovinos de corte e também do efeito da melhoria da eficiência alimentar sobre o impacto ambiental da atividade pecuária, principalmente no que diz respeito à excreção de metano entérico e a excreção urinária de nitrogênio. As simulações foram realizadas para vários sistemas de produção, considerando diferentes cenários para abate de animais aos 44, 30, 26, 20 ou 14 meses de idade. É importante salientar que devido à escassez de dados referentes à emissão de equivalente CO₂ pelos principais insumos utilizados na pecuária, não foram considerados os custos energéticos da produção de insumos, que são custos importantes quando da utilização de sistemas altamente intensivos.

Ao se reduzir a idade de abate de 44 para 30 meses foi observada uma marcante redução no consumo de recursos naturais e também no impacto ambiental da atividade. Nesta situação, o consumo de matéria seca total, do nascimento ao abate foi reduzido de 6258 para 4832 kg. Com isso, houve uma concomitante redução na excreção fecal de 2986 kg para 2166 kg. Com relação à produção de metano total, foi observada redução de 23%.

Para animais que recebem suplementação múltipla nas secas e nas águas e são terminados em confinamento (abate aos 20 meses) a emissão de metano é reduzida em 53%, podendo chegar a 68% de redução no caso de animais superprecoces (sistema 14 meses). Entretanto, a emissão de GEE oriundo dos alimentos e do transporte e fornecimento desses não foi considerada, o que certamente deve diminuir o potencial de mitigação dos sistemas mais intensivos. Vale ressaltar ainda, que embora o IPCC (2006) considere um fator de emissão fixo de 6,5% da energia bruta ingerida para dietas com menos de 90% de concentrado, esse fator tende a ser inferior em

dieta com maior participação de concentrado o que tende a reduzir ainda mais a emissão por animal em sistemas mais intensivos.

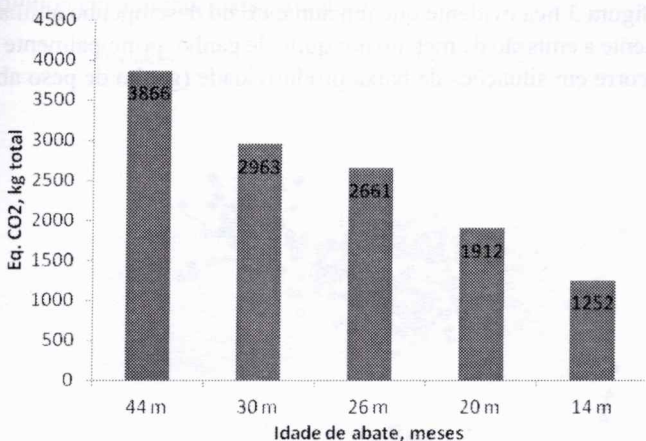


Figura 2. Simulação da emissão direta de equivalente CO₂ por bovinos de corte em diferentes sistemas de produção. Não foram computadas as emissões oriundas dos insumos utilizados.

Fonte: Adaptado de Chizzotti et al. (2011).

A redução do impacto ambiental da atividade pecuária resultante do aumento na eficiência produtiva é atingida pelo efeito de “diluição da manutenção” (Capper et al., 2009).

Outro exemplo pode ser demonstrado ao se comparar algumas características da pecuária de corte norte-americana em 1944 e 2007. Em 2007, a energia total requerida por animal era maior quando comparada à requerida em 1944, no entanto, a redução do tempo necessário entre o nascimento e o abate além do aumento do peso de abate dos animais teve como consequência a redução da exigência total de energia por kg de carne produzida. Segundo Capper et al. (2009) a produção média de carcaça por animal aumentou de 274 kg em 1977 para 351 kg em 2007. Embora tenha ocorrido, segundo o autor, um aumento da produção total de carne entre 1944 e 2007 (houve um aumento de 10,6 bilhões de kg para 11,9 bilhões de kg) a população de animais abatidos para estas produções foi reduzida em 825.000 animais por bilhão de kg de carne produzida sobre o mesmo período de tempo, o que é uma consequência direta do aumento da produção de carne por animal.

Em nova simulação, Chizzotti et al. (2012) utilizaram 352 bovinos zebuínos e cruzados de diferentes classes sexuais, cujos consumos de energia metabolizável (CEM) individuais foram utilizados para predição de perda de energia na forma de metano. A produção de metano de cada animal foi estimada por:

$$CH_4 \text{ (Mcal/dia)} = [4,38 + 0,0586 \times \text{CEM (MJ/dia)}] / 4,184;$$
 adaptada de Elis et al., (2007).

A partir da produção de metano diária, foi calculada a emissão de metano por

quilo de massa corporal formada (ganho de peso de corpo vazio, ou seja, o ganho de peso corporal, excluindo-se o ganho em conteúdo digestivo) para avaliar a emissão de metano por kg de produto produzido.

Na figura 3 fica evidente que um aumento no desempenho animal reduz consideravelmente a emissão de metano por quilo de ganho, principalmente quando esse aumento ocorre em situações de baixa produtividade (ganho de peso abaixo de 200 g/dia).

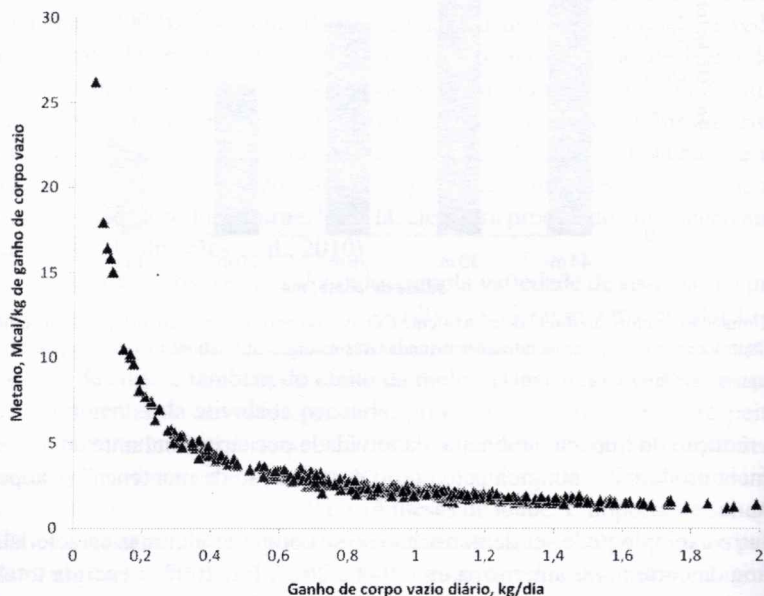


Figura 3. Emissão de metano por kg de ganho corporal em função do desempenho de bovinos de corte.

Fonte: Adaptado de Chizzotti et al. (2012).

Sendo assim, estratégias que aumentem a produtividade por animal, mesmo que simples como um manejo adequado de pastagem, tem grande potencial de reduzir a pegada de carbono da carne bovina. Ressaltamos novamente que a emissão oriunda dos insumos utilizados não foi considerada na simulação, uma vez que para desempenhos elevados, a utilização de insumos (volumosos conservados, concentrados, energia, diesel, etc...) também se intensifica.

5.3. Eficiência energética

A eficiência de utilização da energia ingerida para animais em crescimento pode ser expressa como a porcentagem de energia metabolizável ingerida que é retida no corpo (Chizzotti et al., 2007).

Quanto maior o consumo de energia por unidade de peso do animal, maior é a quantidade de energia depositada pois há uma redução na porcentagem de energia perdida na forma de calor (Figura 4), pois novamente, a exigência de energia para manutenção é diluída em animais mais produtivos.

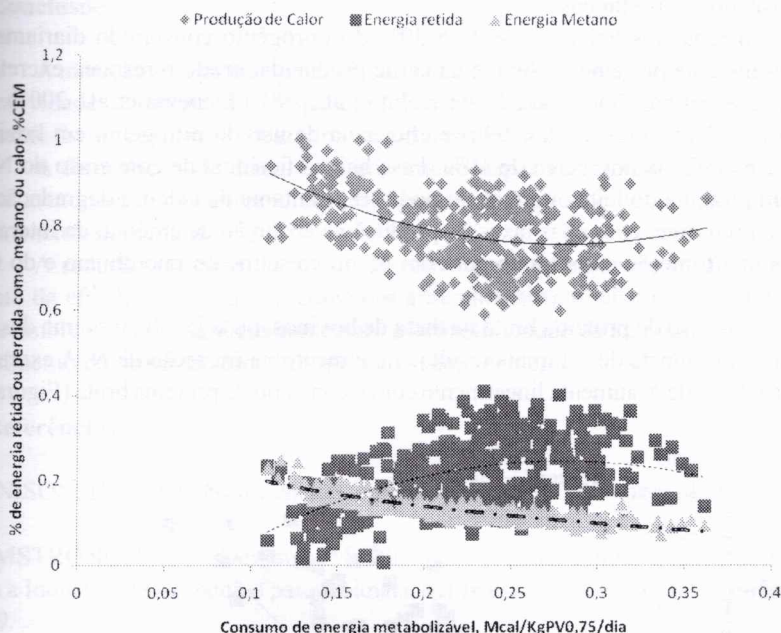


Figura 4. Porcentagem de energia retida ou perdida da forma de metano ou calor (% do consumo de energia metabolizável) em função do consumo de energia metabolizável de bovinos.

Fonte: Adaptado de Chizzotti et al. (2012).

O aumento no consumo de energia por unidade de peso do animal (Mcal/kg de peso metabólico) é conseguido com o aumento na participação de concentrado na dieta.

Embora a produção absoluta de metano (L/dia, kg/dia ou Mcal/dia) aumente com o aumento do uso de concentrado, o maior teor energético eleva o desempenho animal e dessa forma reduz a produção de metano por quilo de produto formado.

Em termos de eficiência, a porcentagem de energia ingerida perdida na forma de metano reduz gradualmente com o aumento no consumo de energia metabolizável, e caso a emissão de GEE oriunda da produção e fornecimento de concentrado não seja superior à redução na produção de GEE relativa ao animal, o aumento no teor de concentrado e principalmente a suplementação estratégica podem constituir em importantes estratégias para redução da pegada de carbono da carne bovina.

5.4. Eficiência de utilização de N

O IPCC (2006) considera uma emissão direta de 0,02 kg de N-N₂O por kg de N presente no dejetos de bovinos mais uma emissão indireta de 0,2 kg de N por kg de N depositado em pastagens.

Em rebanhos leiteiros, de 20 a 30% do nitrogênio consumido diariamente encontram-se na proteína do leite e na carne produzida, sendo o restante excretado pelas fezes e urina (Dou et al., 1996; Kohn et al., 1997; Oenema et al., 2001). De acordo com Hutchings et al. (1996) a eficiência de uso do nitrogênio em bovinos de corte é ainda menor, cerca de 10%. Essa baixa eficiência de conversão do N da dieta em proteína do leite ou músculo pode ser resultante da extensa degradação da proteína no rúmen, com altas taxas de produção e absorção de amônia, da interação do N com a fonte de carboidrato para um ótimo crescimento microbiano e do metabolismo pós-absorção do animal.

O excesso de proteína bruta na dieta de bovinos, ou seja, níveis acima das exigências nutricionais dos animais resulta em aumento na excreção de N. A excreção urinária e fecal de N aumenta linearmente com o consumo de proteína bruta (Figura 5).

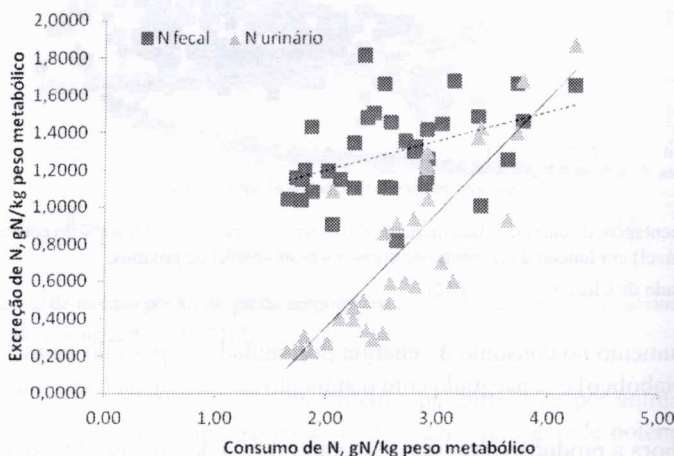


Figura 5. Excreção urinária e fecal de N (g/kg de peso metabólico) em função do consumo de N (g/kg de peso metabólico) em bovinos Red Norte com níveis crescente de proteína bruta (8, 10, 12, 14 e 16%).
Fonte: Amorim, T.R. (dados ainda não publicados).

Dessa forma, uma dieta com excesso de proteína resultará em maiores custos com alimentação além do aumento na excreção de N e assim como maiores quantidades de óxido nitroso serão emitidas, contribuindo negativamente com o aquecimento global. Por outro lado, dietas com teor protéico aquém das exigências pode comprometer a produtividade, aumentando a excreção de N por kg de carne ou leite, prejudicando a eficiência de utilização de N.

O conhecimento científico das exigências nutricionais de ruminantes auxilia a formulação de dietas adequadas, contribuindo com diminuição da excreção de poluentes por unidade de produto formado.

6. Conclusões

A nutrição tem grande potencial de redução de poluentes sem comprometer a lucratividade. O uso de aditivos para redução da emissão de GEE deve ser economicamente favorável para viabilizar o uso em larga escala.

A formulação de dietas tem importante papel na redução de GEE, pois o exato atendimento das exigências nutricionais otimiza o uso de recursos e diminui os impactos ambientais.

A redução no ciclo de produção com baixa utilização de insumos e o aumento da eficiência animal em converter alimentos garantirá não só a sustentabilidade ambiental, mas também aumentará a economicidade da atividade garantindo o suprimento de proteína animal frente à crescente demanda global.

7. Referências

- ANNISON, E.F. 1956. Nitrogen metabolism in the sheep. **Biochem. J.**, 64:705-714.
- ARMSTRONG, W.D. A Demanda Mundial por Proteína Animal e suas Implicações para a Indústria de Alimentos para Animais. **Midwest Swine Nutrition Conference**. 2009.
- BLAXTER, K.L. 1962. **The energy metabolism of ruminants**. Springfield, IL: Charles C. Thomas.
- BLAXTER, K.L.; WAINMAN, F.W. The utilization of energy of different rations by sheep and cattle for maintenance and for fattening. **Journal of Agriculture Science**, v.63, p.113, 1964.
- BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods-a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 94, n. 3, p. 223-253, 2004.
- BUSQUET, M., S. CALSAMIGLIA, A. FERRET AND C. KAMEL, 2006. Plant extracts affect *in vitro* rumen microbial fermentation. **J. Dairy Sci.**, 89: 761-771.
- CASTILLEJOS, L, S. CALSAMIGLIA, A. FERRET AND R. LOSA (2005). Effects a specific blend essential oil compounds and the type of diet on rumen microbial fermentation and nutrient flow from a continuous culture system. **Anim. Feed Sci. Technol.** 119:29-41

CHIZZOTTI, M. L. ; LADEIRA, M. M. ; MACHADO NETO, O. R. ; LOPES, L. S. . Eficiência da produção de bovinos e o impacto ambiental da atividade pecuária. In: VII SIMPEC - VII Simpósio de Pecuária de Corte e II Simpósio Internacional de Pecuária de Corte, 2011, Lavras - MG. VII Simpósio de Pecuária de Corte e II Simpósio Internacional de Pecuária de Corte. Visconde do Rio Branco: Suprema Editora e Gráfica, 2011. v. 1. p. 37-60.

CHIZZOTTI, M. L.; TEDESCHI, L. O. ; VALADARES FILHO, S. C. A meta-analysis of energy and protein requirements for maintenance and growth of Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 86, p. 1588-1597, 2008.

CHIZZOTTI, M.L.; FONSECA, M.A.; LADEIRA, M.M.; et al. Eficiência energética e consumo alimentar residual de bovinos. In: LANA, R.P.; ABREU, D.C. (Eds.). A sustentabilidade da pecuária bovina brasileira. 2012. (aguardando impressão).

DEMARCHI, J. J. A. A.; MANELLA, M. Q.; LOURENÇO, A. J.; ALLEONI, G. F.; Preliminary results on methane emission by Nelore cattle in Brazil grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. In: INTERNATIONAL METHANE & NITROUS OXIDE MITIGATION CONFERENCE, 3., 2003, Beijing, China. Proceedings... Beijing: China Coal Information Institute, 2003. p. 80-82. 1 CD-ROM.

DEINUM, B.; SULASTRI, R.D.; ZEINAB, M.H.J. et al. Effects of light intensity on growth, anatomy and forage quality of two tropical grasses (*Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum* var. *Trichoglume*). **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v.44, p.111-124, 1996.

DOHME, F., A. MACHMULLER, B. L. ESTERMANN, P. PFISTER, A. WASSER-FALLEN, AND M. KREUZER. 1999. The role of the rumen ciliate protozoa for methane suppression caused by coconut oil. **Lett. Appl. Microbiol.** 29:187–192.

DOU, Z., R. A. KOHN, J. D. FERGUSON, R. C. BOSTON, AND J. D. NEWBOLD. 1996. Managing nitrogen on dairy farms: An integrated approach I. Model description. **J. Dairy Sci.** 79:2071–2080

DOHME, F., A. MACHMULLER, F. SUTTER, AND M. KREUZER. 2004. Digestive and metabolic utilization of lauric, myristic and stearic acid in cows, and associated effects on milk fat quality. **Arch. Anim. Nutr.** 58:99–116.

DOREAU, M.; BAUCHART, D. & CHILLIARD, Y. 2011. Enhancing fatty acid composition of milk and meat through animal feeding. **Animal Production Science**, Vol.51, No.1 (December 2010), pp. 19-29. ISSN 1836-0939.

- FIACIOLA, A.P.; BRODERICK, G.A.; HRISTOV, A.N.; LEAO, M.I. 2005. Effect of different levels of lauric acid on ruminal protozoa, fermentation pattern, and milk production in dairy cows [abstract]. **Journal of Dairy Science**. 88 (suppl. 1):178.
- FIELD J. A.; KORTEKAAS, S.; LETTINGA, G. The tannin theory of methanogenic toxicity. **Biological Wastes**, v. 29, p. 241–262, 1989
- GUAN H., WITTENBERG K.M., OMINSKI K.H., KRAUSE D.O. Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. **Journal of Animal Science**, v.84, p. 1896–1906, 2006.
- HARFOOT, C.G.; HAZLEWOOD, G.P. Lipid metabolism in the rumen. In: HOBSON, P.N.; STEWART, C.S. (Eds.) *The ruminal microbial ecosystem*. London: Chapman & Hall, 1997. p.382-426.
- HENDERSON, C. 1973. The effects of fatty acids on pure cultures of rumen bacteria. **J. Agric. Sci.** 81:107–112.
- HRISTOV, A.N.; VANDER POL, M.; AGLE, M. et al. Effect of lauric acid and coconut oil on ruminal fermentation, digestion, ammonia losses from manure, and milk fatty acid composition in lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v.92, p.5561-5582, 2009.
- HSU, J.T., G.C. FAHEY, N.R. MERCHEN AND R.I. MACKIE, 1991. Effect of defaunation and various nitrogen supplementation regimens on microbial numbers and activity in the rumen of sheep. **J. Anim. Sci.**, 69: 1279-1289.
- HUNGATE, R.E. 1970. *The rumen and its microbes*. New York. **Academic Press Inc.** 533p.
- IBGE 2009. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://IBGE.gov.br>. Acesso em 10 de janeiro de 2009.
- IGWEGBU, O.A.; Y SUTTON, J.D. (1982). *British Journal of Nutrition*. 48:365.
- IPCC. The SRES emission scenarios: the IPCC Data Distribution Centre. Disponível em: <<http://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/sres/index.html>>. Acesso em: 1 mar. 2010.
- JANSSEN, P.H.; KIRS, M. Structure of the archaeal community of the rumen. **Applied and Environmental Microbiology**, v.74, p.3619-3625, 2008

- KOHLERT . C, VAN RENSEN, I, MARZ, R, SCHINDLER, G, GRAEFE, EU, VEIT M. Bioavailability and pharmacokinetics of natural volatile terpenes in animal and humans. **Planta Medica** 2000; 66:495-505.
- KOHN, R. A., Z. DOU, J. D. FERGUSON, AND R. C. BOSTON. 1997. A sensitivity analysis of nitrogen losses from dairy farms. **J. Environ. Manag.** 50:417-42
- KOZLOSKI, G.V. **Bioquímica dos ruminantes**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2002. 140p.
- LADEIRA, M.M., CHIZZOTTI, M.L., CHALFUN JÚNIOR, A. Manipulação da qualidade da carne bovina via suplementação com lipídeos. In: VII Simpósio de Pecuária de Corte e II Simpósio Internacional de Pecuária de Corte, 2011, Lavras, MG. **Anais do VII Simpec**. Lavras : UFLA/NEPEC, 2011, 2011. v. 1. p. 155-200.
- LAMBERT, R.J.W.; SKANDAMIS, P.N.; COOTE, P.J. A Study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. **J. Applied Microbiol.**, v.91, p.453-462, 2001
- LOVETT, D., S. LOVELL, L. STACK, J. CALLAN, M. FINLAY, J. CONNOLLY, AND F.P. O'MARA, 2003: Effect of forage/concentrate ratio and dietary coconut oil level on methane output and performance of finishing beef heifers. **Livestock Production Science**, 84, pp. 135-146.
- MACHADO, F.S., PEREIRA, L.G.R., GUIMARÃES JÚNIOR, R., LOPES, F.C.F., CHAVES, A.V., CAMPOS, M.M., MORENZ, M.J.F. Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação. **Série Documentos Embrapa**, 51p., 2010.
- MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. Plant toxins and detoxification methods to improve feed quality of tropical seeds - Review. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.12, p.467-480, 1999.
- MARTIN, C., MORGAVI, D.P., DOREAU, M., 2010. Methane mitigation in ruminants:from microbe to the farm scale. **Animal** 4, 351-365
- MACHMULLER, A., C. R. SOLIVA, AND M. KREUZER. 2003. Methane Suppressing Effect Of Myristic Acid In Sheep As Affected By Dietary Calcium And Forage Proportion. **Br. J. Nutr.** 90:529-540.
- MEZZOMO, R. Padrão nictemeral dos níveis de pH, nitrogenico amoniacal e ácido graxo volátil ruminal em bovinos alimentados com dietas de alto teor de grão suplementados com tanino condensado. In: **Anais da 47 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 2010. v. 1. p. 1-3.

- NAGARAJA, T. G. et al., Manipulation of ruminal fermentation, In: HOBSON , P.N.; STEWART, C.S. (Eds). **THE RUMEN MICROBIAL ECOSYSTEM. Blackie Academy & professional**, London. 1997. P. 523.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient requirements of beef cattle. 8ed. Washington, D.C.: **National Academic Press**, 2000. 234p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient requirements of dairy cattle. 7ed. Washington, D.C.: **National Academic Press**, 2001. 381p.
- OENEMA, J., G. J. KOSKAMP, AND P. J. GALAMA. 2001a. Guiding commercial pilot farms to bridge the gap between experimental and commercial dairy farms; the project 'Cows & Opportunities.' *Neth. J. Agric. Sci.* 49:277–296
- PATRA, A.K., D.N. KAMRA AND N. AGARWAL, 2010. Effects of extracts of spices on rumen methanogenesis, enzyme activities and fermentation of feeds *in vitro*. **J. Sci. Food Agric.**, 90: 511-520.
- PAULINO, V. T. Sustentabilidade de pastagens consorciadas - ênfase em leguminosas forrageiras. In: PAULINO, V. T.; LUCENA, M.A.C.; GERDES, L.; COLOZZA, M.T.; BRAGA, G.J. II ENCONTRO SOBRE LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS. 1 ed. Nova Odessa: IZ/APTA/SAA, 2008, v. 1, p. 1-55.
- PELCHEN, A.; K.J. PETERS (1998): Methane Emissions from sheep, **Small Ruminant Research**, 27, 137-150
- PRIGGE, W. B.; BRYAN, M.; SCHETTINI, E. L.; NESTOR, E. C.; TOWNSEND, O. J.; GEKARA, E. C. Influence of pasture sward height and concentrate supplementation on intake, digestibility, and grazing time of lactating beef cow. **Journal of Animal Science**, v. 79, p.745–752, 2001.
- ROCHE, J. R.; BLACHE, D.; KAY, J. K.; MILLER, D. R.; SHEAHAN, A. J. Neuroendocrine and physiological regulation of intake with particular reference to domesticated ruminant animals. **Nutrition Research Reviews**, v. 21, p. 207–234, 2008.
- SARVANAN, T.S. (2000) Effect of bromochloromethane on methanogenesis, nutrient utilization and growth rate of lambs. MVSc Thesis, **Indian Veterinary Research Institute**, Izatnagar, India.
- SAUVANT, D.; GIGER-REVERDIN, S.. 2007. Empirical modelling meta-analysis of digestive interactions and CH₄ production in ruminants. Page 561 in Energy and Protein Metabolism and Nutrition, EAAP publ. 124. **Wageningen Acad. Publ.**, Wageningen, the Netherlands.

SIMÕES, C.M.O.; SPITZER, V. Óleos voláteis. In: SIMÕES, C.M.O. et al. Farmacognosia: da planta ao medicamento. Porto Alegre/Florianópolis: UFRGS/UFSC, 2000. Cap.18.

SLYTER, L.L. 1976. Influence of acidosis on rumen function. **J. Anim. Sci.**, 43:910-929.

SNYDER, C. S.; BRUULSEMA, T. W.; JENSEN, T. L. Melhores práticas de manejo para minimizar emissões de gases de efeito estufa associadas ao uso de fertilizantes. Piracicaba, SP. **Informações Agronômicas**, n. 121, p. 13-14. Março, 2008.

SOLIVA, C. R., L. MEILE, A. CIEŚLAK, M. KREUZER, AND A. MACHMULLER. 2004. Rumen simulation technique study on the interactions of dietary lauric and myristic acid supplementation in suppressing ruminal methanogenesis. **Br. J. Nutr.** 92:689-700.

SUTHERLAND, T. M. Particle separation in the forestomachs of sheep. In: DOBSON, A. (Ed.) Aspects of Digestive Physiology in Ruminants. 1988. Ithaca: **Comstock Publish Associates**, 1988, p. 43-73.

SUTTON, J.D. Altering milk composition by feeding. **Journal of Dairy Science**. v.72, p.2801-2814, 1989.

TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G.; TYLUTKI, T.P. Potential Environmental Benefits of Ionophores in Ruminant Diets. **Journal Environment Quarterly**, v.32, p.1591-1602, 2003.

TIEMANN, T.T, LASCANO C.E, WETTSTEIN H.R, MAYER, A. 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** 2: 790-799.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. [2009]. Live-stock and Poultry: world markets and trade. Disponível em: <<http://www.usda.gov/wps/portal/usdahome>>. Acesso em: 16/7/2009.

VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. Fermentação Ruminal. In: Telma Tere-sinha Berchielli; Alexandre Vaz Pires; Simone Gisele de Oliveira. (Org.). **Nutrição de Ruminantes** 1ª Ed. Jaboticabal: Funep, v. 1, p. 151-182, 2006.

VALADARES FILHO, S.C.; MARCONDES, M.I.; CHIZZOTTI, M.L.; PAULINO, P.V.R. **Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados: BR-CORTE**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2010.

VAN KESSEL, J.A.S., RUSSELL, J.B. 1996. The effect of pH on ruminal methanogenesis. **FEMS Microbiol. Ecol.**, 20:205-210.

VAN NEVEL, C.J., DEMEYER, D.I. 1988. Manipulation of ruminal fermentation. In: Hobson, P.N. (Ed). The ruminal microbial ecosystem. Essex, England: **Elsevier Science**. p.87-443.

WOLIN, M. J.; MILLER, T. L. ; STEWART, C.S. Microbe-microbe interactions. In: HOBSON, P.N.; BLACKIE, C.S. (Ed.) The rumen microbial system. London: **Academic and Professional**, 1997. p. 467-491.

WOODWARD, S.L., G.C. WAGHORN, M.J. ULYATT AND K.R. LASSEY, 2001. Early indications that feeding *Lotus* will reduce methane emissions from ruminants. **Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production**, (NZSOAP'01), **New Zealand Society of Animal Production**, pp: 23-26.