

3. Redução da emissão de metano pelos ruminantes: o papel de aditivos, fatores nutricionais e alimentos

Heloise Carneiro, PhD, CRMV-MG/20512

Marcio Roberto Silva, Dr., CRMV-MG/5558

Leuciana Pinto de Paula

Unidade de Produção Animal, Universidade Federal de Lavras

Unidade de Produção Animal, Universidade Federal de Lavras

Unidade de Produção Animal, Universidade Federal de Lavras

1. Introdução

A ação do homem vem alterando as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, provocando aquecimento da superfície terrestre. A agricultura e a pecuária são grandes contribuintes para as emissões antropogênicas de metano (CH_4) a atmos-

fera, que foram estimadas em 16% segundo Longo (2007). A interação entre os fatores de produção animal e o impacto ambiental causado pelas diversas atividades tem sido, cada vez mais, o objetivo de pesquisas relacionadas com as mudanças climáticas mundiais. Na agricultura são forma-

dos diversos gases colaboradores do efeito estufa, como o óxido nítrico (N_2O), dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4). A formação desses gases é ocasionada pela fermentação entérica (no rúmen), dejetos, respiração do solo, adubação com fertilizantes, desmatamento, queimadas etc. O CH_4 é um dos gases produzidos pela fermentação entérica anaeróbica de alimentos de vários animais, principalmente os ruminantes, dentre os quais estão os bovinos, caprinos e ovinos. Realmente os ruminantes são eficientes na produção de metano, porém essa produção evoluiu com a espécie e é necessária para evitar a intoxicação do animal. O problema é que esse gás apresenta um potencial de “efeito estufa” 21 vezes maior do que o dióxido de carbono (CO_2).

Estima-se que a população mundial de ruminantes é responsável pela produção de 15% de todo o gás metano da atmosfera. As emissões globais de CH_4 geradas a partir dos processos entéricos são estimadas em 80 milhões de toneladas anuais (USEPA, 2004), correspondendo aproximadamente a 22% das emissões totais de CH_4 por fontes an-

A formação desses gases é ocasionada pela fermentação entérica (no rúmen), dejetos, respiração do solo, adubação com fertilizantes, desmatamento, queimadas etc.

trópicas, representando 3,3% do total dos gases de efeito estufa. O Brasil possui o maior rebanho bovino comercial do mundo, estimado em cerca de 202 milhões de cabeças de gado, ocupando pouco mais de 172 milhões de hectares, sendo que 88% da carne bovina produzida no país são provenientes de rebanhos mantidos exclusivamente a pasto, que normalmente produzem mais CH_4 pelo fato de geralmente serem submetidos a desbalanços nutricionais. Diante desses números, a pecuária tem sido apontada como uma das atividades que mais prejudicam o meio ambiente. Os impactos negativos causados pela bovinocultura estão relacionados com o principal meio de produção adotado no Brasil, o sistema extensivo (Zen *et al.*, 2008). Por esse fato, o Brasil tem sido apontado como grande contribuinte em emissão de CH_4 .

Preocupadas com as mudanças climáticas geradas pelo aumento dos gases de efeito estufa (GEE), muitas nações desenvolvidas do mundo redigiram e assinaram em 1997 o Protocolo de Kyoto. O tratado pretendia

Estima-se que a população mundial de ruminantes é responsável pela produção de 15% de todo o gás metano da atmosfera.

reduzir as emissões de GEE em 5% sobre o total produzido pelo país em 1990, com validade durante o período de 2008 a 2012. O Brasil foi o 77º país a ratificar o Protocolo, em junho de 2002, porém ele está incluído no grupo dos países que irão receber incentivos para não poluir ainda mais o meio ambiente.

Os ruminantes, devido ao processo digestivo de fermentação entérica, são reconhecidos como importantes fontes de emissão de CH_4 à atmosfera. Além disso, a produção desse gás, que pode variar em função do sistema de alimentação, é considerada uma perda da energia do alimento, refletindo em ineficiência na produção animal. Essas perdas de energia são estimadas em cerca de 2 a 12% do consumo de energia bruta ingerida (Johnson e Johnson, 1995).

A fermentação microbiana dos ruminantes desempenha um papel importante em capacitar os ruminantes para utilizar os substratos fibrosos, que fornecem ao animal hospedeiro uma gama substancial de nutrientes, necessários para a produção de carne e de leite, além de potenciais consequências deletérias ambientais causadas pela emissão de gases de efeito estufa resultante da degradação de proteína dietética, levando à excreção excessiva de nitrogênio (N) nas fezes e urina. Adicionalmente, resulta na produção de CH_4 , um importante gás entre os

responsáveis pelo efeito estufa, e substancial perda energética na forma de CH_4 e CO_2 (Steinfeld *et al.*, 2006).

A população microbiana no rúmen é caracterizada por uma população altamente diversificada de bactérias, protozoários, fungos e espécies como as *archaea metanogênica*. O rúmen de um adulto ruminante contém 10^9 - 10^{10} células bacterianas/mL, 10^3 a 10^6 /mL de protozoários e, pelo menos, seis gêneros de fungos anaeróbios (10^3 a 10^4 células/mL) (Hobson e Stewart, 1997). Devido à importância da fermentação ruminal, grande esforço tem sido dedicado a investigar métodos para manipular esse complexo ecossistema. Uma vasta gama de aditivos tem sido investigada, mas, impulsionados por preferências do consumidor para sistemas de produção mais “naturais”, estudos recentes tendem a concentrar-se em extratos de probióticos e plantas como manipuladores de dietas destinadas a ruminantes. Aqui, apresentamos dados sobre a importância da fermentação no rúmen, tanto em termos de nutrição do hospedeiro quanto no contexto ambiental. Uma ampla quantidade de aditivos está disponível, dos quais os que se baseiam em probióticos têm sido de longe os mais bem-sucedidos comercialmente. No entanto, recentemente é crescente a preocupação em relação à possível propagação da resistência aos antibióticos, a partir de

animais, para a população em geral. Assim, autoridades governamentais têm proibido o uso desses antibióticos e/ou promotores de crescimento em sistemas de produção animal, e isso tem levado a um interesse renovado na área de manipulação do rúmen por métodos mais “naturais”.

Atualmente, estudos com biologia molecular têm permitido consideráveis avanços na identificação da microbiologia ruminal, permitindo entender melhor seu funcionamento, e, dessa forma, novas abordagens para a manipulação ruminal têm sido propostas.

Os estudos tradicionais em microbiologia ruminal têm contado com a capacidade de cultivar *in vitro* e caracterizar os microrganismos do rúmen (Hobson e Stewart, 1997). No entanto, embora seja um progresso significativo dessas técnicas ao longo dos anos, tem se reconhecido que apenas uma proporção relativamente pequena dos microrganismos é recuperada por tais técnicas, mostrando que ainda estamos distantes de compreender as funções e as atividades da grande maioria do ecossistema ruminal (Edwards *et al.*, 2008).

Recentemente, as técnicas moleculares baseadas na amplificação de genes ribossomais têm permitido ambos os

Autoridades governamentais têm proibido o uso desses antibióticos e/ou promotores de crescimento em sistemas de produção animal, e isso tem levado a um interesse renovado na área de manipulação do rúmen por métodos mais “naturais”.

estudos, quantitativos e qualitativos, sobre as populações microbianas do rúmen. Acredita-se que genes ribossomais possam estar presentes em todas as células e ter regiões que permitem a utilização de iniciadores (primers) universais para amplificar todos os DNA ribossomais microbianos de uma amostra 16S

rRNA, típicos para estudar as bactérias, e 18S rRNA, para estudar fungos e protozoários, altamente conservados, possuindo regiões variáveis que nos permitem distinguir entre diferentes espécies (Edwards *et al.*, 2008). Assim, os usos de tais técnicas vêm para ajudar ainda mais a elucidar o modo e a ação desses extratos de plantas e fungos que vivem no rúmen.

Este artigo tem como objetivo revisar os mecanismos de síntese de metano entérico, assim como os fatores nutricionais que afetam sua produção e redução.

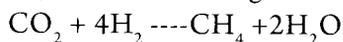
2. Digestão dos ruminantes: o processo fisiológico, as perdas energéticas e a produção de metano

Além das preocupações e pressões ecológicas, a produção do metano consiste em uma forma de perda de energia

digestível (2 a 12%) no sistema ruminal, em virtude da perda de carbono, determinando maior ou menor desempenho animal. A fermentação anaeróbia que ocorre durante o metabolismo dos carboidratos no rúmen, efetuado pela população microbiana, converte os carboidratos em ácidos graxos de cadeia curta, formando principalmente o ácido acético, propiônico e butírico. Devido a esse processo metabólico, produz-se calor, que é dissipado como calor metabólico pela superfície corporal, CO_2 e CH_4 , que então são eliminados com os gases respiratórios.

A proporção dos ácidos graxos voláteis (AGVs) está diretamente ligada à dieta, sendo que rações ricas em grãos (carboidratos solúveis) favorecem a maior formação do ácido pro-

piônico, ao passo que rações com alta proporção de alimentos volumosos (carboidratos estruturais) favorecem a produção de ácido acético. Durante a formação do ácido acético e butírico, há grande produção do gás de hidrogênio (H_2); por outro lado, no processo fermentativo onde o produto resultante é o ácido propiônico, há “captura” de H_2 do meio ambiente. O H_2 e o CO_2 resultantes dos processos metabólicos são utilizados pelas bactérias para produzir metano, como se pode observar na reação abaixo e na Figura 1:



Isso resulta em uma relação inversa altamente significativa entre propionato:metano. Geralmente no rúmen, as bactérias são encontradas aderidas aos protozoários ciliados, mostrando uma relação de simbiose,

Plantas: polissacarídios

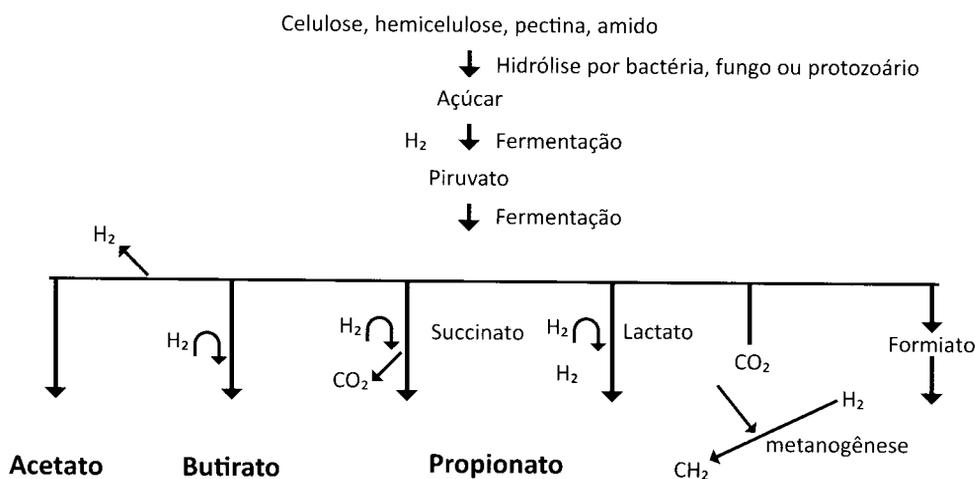


Figura 1. Processo metabólico a partir de carboidrato para formação de metano.

em que as archaeas metanogênicas, por utilizarem o H_2 produzido pelos ciliados, favorecem a manutenção de um ambiente ruminal adequado ao desenvolvimento desses mesmos microrganismos. Além disso, a presença de H_2 prejudica a fermentação e o crescimento das archaeas.

A emissão de metano proveniente de líquido ruminal pode variar em função do tipo de animal, nível de consumo de alimentos, processamento da forragem, adição de lipídeos no rúmen, suprimento de minerais, manipulação da microflora ruminal e da digestibilidade dos alimentos. Segundo Pedreira (2004), a média de emissão anual por categoria animal, subdividindo o gado de corte em fêmeas adultas, machos adultos e jovens, e o gado de leite, é de: 58, 57, 42, 57 kg, respectivamente. Esses dados, por serem de animais de países temperados, subestimam os resultados de estudos realizados pelo pesquisador Odo Primavesi, da Embrapa Pecuária Sudeste, em regiões tropicais, uma vez que as forrageiras utilizadas são distintas, apresentando maiores conteúdos de parede celulares e menores taxas de digestibilidade.

A emissão de metano proveniente de líquido ruminal pode variar em função do tipo de animal, nível de consumo de alimentos, processamento da forragem, adição de lipídeos no rúmen, suprimento de minerais, manipulação da microflora ruminal.

3. Estratégias para diminuição de metano por ruminantes

O fornecimento de dietas que possuem maior quantidade de carboidratos rapidamente digestíveis, as manutenções de altos níveis de ingestão, a utilização de forragens de melhor qualidade e o melhoramento genético dos animais, priorizando maior desempenho produtivo, podem reduzir a emissão de CH_4 . Estratégias como a redução no número

de animais no sistema de produção, bem como criações que visam produção de carne, devido ao acréscimo no desempenho dos animais, que resultam em menor permanência do animal no sistema, reduzem a produção do gás durante o ciclo de vida. Porém, a estratégia de inclusão de grãos à dieta, para balanceá-la, leva a um incremento

muito maior da emissão de CO_2 proveniente da queima de energia fóssil pelas máquinas envolvidas nos processos de produção e transporte desses alimentos, e pode ser causa também de geração de óxido nítrico (25 vezes mais potente em reter calor que o CH_4), oriundo do nitrato gerado pelos fertilizantes nitrogenados aplicados nas lavouras de grãos e pastagens.

Com base nisso, tem sido proposta a utilização de vários recursos alimentares que podem reduzir a emissão de CH₄ pelos ruminantes para o meio ambiente:

Lipídeos insaturados: Atua exercendo ação deletéria sobre as *archaeas* metanogênicas e protozoários, além de consumir H₂ pelo processo de bio-hidrogenação, sendo que a intensidade com que ocorre a inibição da produção de CH₄ é determinada pelo grau de saturação da gordura utilizada e a quantidade suplementada. No entanto, alguns pesquisadores citam que a utilização de alimentos comumente fornecidos na dieta animal pode apresentar baixa eficiência como acceptor de elétrons, reduzindo de forma insignificante a metanogênese, inviabilizando assim o emprego da técnica. A suplementação da dieta de ruminantes com lipídios é realizada para aumentar a densidade energética da dieta, geralmente com baixo custo, e para manipular a fermentação ruminal por meio da alteração na digestão e absorção dos nutrientes. O fornecimento de lipídios aos ruminantes geralmente provoca redução na digestibilidade da fibra. De acordo com Jenkins (1993), a digestão dos carboidratos fibrosos pode ser reduzida em até 50% com a adição de menos de 10% de lipídios na dieta. Além disso, ocorre decréscimo na concentração de protozoários, aumento no conteúdo de ácidos graxos voláteis e redução na produção de metano no rúmen, sendo esse comportamento de-

pendente da quantidade e da fonte de lipídio.

A recomendação geral é que a gordura não exceda 6 a 7% da matéria seca (MS) da dieta (Jenkins, 1993; Doreau *et al.*, 1997; NRC, 2001). Em geral, os ácidos graxos insaturados e os de cadeia curta a média apresentam maiores efeitos na fermentação ruminal do que os saturados e os ácidos graxos de cadeia longa, respectivamente, enquanto os sabões de cálcio apresentam mínimos efeitos sobre a fermentação ruminal (Nagaraja *et al.*, 1997). Os ácidos graxos insaturados possuem uma ou mais duplas ligações, são geralmente líquidos à temperatura ambiente e estão presentes em alta concentração em óleos de origem vegetal. Por outro lado, os ácidos graxos saturados não possuem duplas ligações, são geralmente sólidos à temperatura ambiente e prevalecem em fontes de origem animal. Como fonte de ácidos graxos insaturados tem se explorado a utilização da canola com 60% de ácido oleico (C18:1), da soja com 50% de linoleico (C18:2) e da linhaça com 47% de linolênico (C18:3). Adicionalmente, o óleo de coco e o óleo de palma, apesar de serem fontes de origem vegetal, possuem ácidos graxos saturados com 45% de ácido láurico (C12:0) e 40% de palmítico (C16:0), respectivamente, podendo também serem usados para manipular a fermentação ruminal (Hristov *et al.*, 2003).

Vários mecanismos têm sido atri-

buídos para explicar como os lipídios interferem na população microbiana e na fermentação ruminal (Devendra e Lewis, 1974). No entanto, o efeito antimicrobiano e a teoria do “revestimento” da partícula de alimento têm recebido maior atenção (Jenkins, 1993; Nagaraja *et al.*, 1997). A adsorção dos ácidos graxos livres à partícula de alimento inibe o contato direto das células microbianas com o substrato ou a ligação das células bacterianas à celulose, diminuindo a captação de aminoácidos e a produção de ATP pela bactéria (Galbraith e Miller, 1973). Isso leva a uma redução na digestão dos nutrientes e a um decréscimo no crescimento microbiano (Henderson *et al.*, 1973; Maczulak *et al.*, 1981). O crescimento de bactérias celulolíticas é mais reduzido do que as amilolíticas (Galbraith *et al.*, 1971; Maczulak *et al.*, 1981).

Em geral, observa-se que os lipídios diminuem a atividade fibrolítica no rúmen (Tesfa, 1992). O ácido graxo oleico foi potente inibidor também das archaea metanogênicas.

Ionóforos: Os ionóforos, principalmente a monensina, são aditivos empregados na alimentação de ruminantes que podem reduzir a produção de CH_4 em 25% e a ingestão de alimentos, em 4%, sem afetar o desempenho animal. A

monensina seleciona as bactérias gram-negativas, que são produtoras de propionato, em detrimento das gram-positivas, que são as principais produtoras de acetato e butirato, além de diminuir as archaea metanogênicas. No entanto, Johnson e Johnson (1995) citam que os microrganismos podem desenvolver mecanismos de resistência após 30 dias de sua administração. A inclusão de ionóforos na dieta tem aumentado a eficiência alimentar, enquanto os efeitos no ganho de peso e no consumo de alimento têm sido variáveis. Já em animais alimentados com dietas com

alta quantidade de concentrado, geralmente observa-se redução no consumo de alimento, aumento ou não alteração no ganho de peso e aumento na eficiência alimentar (consumo/ganho). Todavia, em animais em pastagem, a monensina não reduz

o consumo de alimento e o ganho de peso é aumentado, também como consequência de um aumento na eficiência alimentar. A redução ou modulação do consumo de alimento tem sido observada, principalmente com monensina (Goodrich *et al.*, 1984; Schelling, 1984; Oliveira *et al.*, 2005), enquanto outros ionóforos, como lasalocida, salinomina, laidlomocina propionato, geralmente não afetam ou podem aumentar

*Ionóforos,
principalmente a
monensina, são
aditivos empregados
na alimentação de
ruminantes que podem
reduzir a produção de
 CH_4 .*

o consumo de alimento (Spires *et al.*, 1990). O consistente efeito negativo da monensina no consumo de alimento levou o NRC (1996) a recomendar que o consumo de matéria seca estimado seja diminuído em 4% quando se procede à suplementação com 27,5 a 33 ppm de monensina. Os mecanismos de redução do consumo de alimento quando se utiliza monensina não são bem entendidos. Em animais alimentados com dieta volumosa, o decréscimo no consumo pode ser parcialmente explicado pela diminuição na taxa de *turnover* de sólidos e líquidos no rúmen e consequente aumento do enchimento ruminal (Allen e Harrison, 1979), enquanto a reduzida motilidade ruminal induzida pela monensina pode ser a causa da diminuição do *turnover* ruminal (Deswysen *et al.*, 1987). Em média, recomenda-se para bovinos 33 ppm ou 200 mg/dia de monensina como dose ótima para a obtenção da melhor resposta no desempenho (Potter *et al.*, 1976; Wilkinson *et al.*, 1980; Goodrich *et al.*, 1984), na eficiência alimentar (Potter *et al.*, 1976), no padrão de fermentação ruminal (Potter *et al.*, 1976; Raun *et al.*, 1976), menor produção de metano (O’Kelly e Spiers, 1992) e menor incidência de timpanismo (May, 1990).

9,10-antraquinona: Composto de ocorrência natural em algumas plantas,

insetos e microrganismos, que por possuir efeito direto sobre as archaea metanogênicas, evidenciado pelo acúmulo de H_2 , é considerado um potencial redutor de CH_4 , mesmo quando presente em pequenas quantidades. Apresenta como vantagens não causar efeito negativo sobre a digestão ou saúde animal e aparentemente não ocorrer adaptação à substância.

Estímulo da via acetogênica: É um processo em que o CO_2 é reduzido utilizando-se o H_2 presente no meio para produzir acetato, fonte de energia prontamente disponível para o ruminante. Além disso, consiste em um processo natural, que não deixa resíduos no leite e carne, sem causar resistência aos produtos pelos consumidores. Entretanto é dificultado pela metanogênese que,

possuir maior afinidade por elétrons, impede a competição.

Extratos naturais de plantas:

A utilização de forragens com presença de compostos secundários constitui-se em possibilidades naturais para modificar a fermentação ruminal. Várias plantas apresentam esses compostos secundários que protegem do ataque dos fungos, bactérias, herbívoros e insetos. Saponinas e taninos presentes em algumas plantas tropicais podem atuar nesse processo. Quando fornecidos em altos níveis, esses compostos podem ter efeitos adver-

*9,10-antraquinona
é considerado um
potencial redutor de
 CH_4*

tos na população microbiana ruminal e na saúde animal, enquanto em baixos níveis apresentam potencial para melhorar a fermentação ruminal. Esses compostos podem ser fornecidos aos animais diretamente pelo alimento ou por extratos retirados industrialmente desses alimentos e adicionados à dieta dos animais. O tanino condensado, um composto de defesa produzido pelo metabolismo secundário das plantas, também vem sendo reportado pela literatura, apresentando resultados bastante promissores, indicando possível efeito deletério do tanino condensado sobre as archaea metanogênicas.

Saponinas: Saponinas são glicosídeos presentes naturalmente em plantas de *Medicago sativa* (alfafa), *Brachiaria decumbens*, entre outras forrageiras. Essas substâncias têm sido pesquisadas como inibidores do crescimento de protozoários ruminais, bem como moduladores da fermentação ruminal em bovinos. O uso das saponinas leva secundariamente à redução na produção de amônia, aumento na utilização do N da dieta, aumento na eficiência de síntese de proteína microbiana, mudança no perfil de ácidos graxos voláteis e diminuição na produção de metano. Em uma revisão realizada por Wina *et al.* (2005), os autores citam 28 trabalhos em que as saponinas provocaram redução no número de protozoários, 8

trabalhos mostrando um decréscimo somente na atividade dos protozoários, 7 trabalhos não indicando efeito, e 3 trabalhos em que se observou efeito positivo das saponinas nos protozoários ruminais. Os autores chamam atenção para o fato de que a maioria dos trabalhos que demonstraram efeito antiprotozoário das saponinas foram realizados *in vitro*, devendo-se esses resultados serem avaliados com cuidado por nem sempre serem consistentes com os resultados *in vivo*.

Aditivos microbianos: O uso de aditivos contendo células vivas de microrganismos e/ou seus metabólitos tem aumentado em resposta à demanda pelo uso de substâncias “naturais” promotoras do crescimento que melhorem a eficiência da produção em ruminantes. A suplementação com microrganismos

Saponinas moduladores da fermentação ruminal em bovinos.

benéficos espera prevenir o estabelecimento de microrganismos indesejáveis à microflora normal do trato diges-

tivo, procedimento denominado de “probióticos”. Vários casos de aumento no desempenho animal são documentados na literatura quando os ruminantes foram suplementados com aditivos microbianos. Os mecanismos propostos para o aumento no desempenho animal estão relacionados com a produção de compostos antimicrobianos (ácidos, bacteriocinas, antibióticos). Além disso, tem-se a competição com organismos

indesejáveis pela colonização do substrato, produção de nutrientes e outros fatores de crescimento estimuladores de microrganismos desejáveis no trato digestivo, produção ou estímulo de enzimas, metabolismo ou detoxificação de compostos indesejáveis, estímulo de resposta imune no animal hospedeiro, produção de nutrientes (aminoácidos, vitaminas) ou outros fatores estimuladores do crescimento do animal hospedeiro (Fuller, 1989). O exemplo de maior sucesso de manipulação da fermentação ruminal com a inoculação de bactérias é a inativação do 3-hidroxi-4(H)-piridona (DHP) pela bactéria *Synergistes jonesii*, isoladas de cabras do Havai foram adaptados à forrageira tropical *Leucaena leucocephala* (Jones e Megarrity, 1986). Essa forrageira contém um aminoácido não proteico chamado mimosina, que, quando consumida por animais não adaptados, o DHP liberado no rúmen causa efeitos gastrogênicos no animal. O organismo *S. jonesii* responsável pela detoxicação, quando inoculado e estabelecido no rúmen de animais australianos, conferiu proteção à toxicidade do DHP (Allison *et al.*, 1990). Extratos e culturas vivas dos fungos *Aspergillus oryzae* e, principalmente de *Saccharomyces cerevisiae*, também são explorados como agentes de manipulação ruminal. A utilização de *Aspergillus oryzae* na dieta tem gerado muito interesse, mas existem poucas informações sobre o modo de ação de *Aspergillus*. A

resposta à suplementação com *A. oryzae* parece ser maior no início da lactação do que no meio ou fim (Wallentine *et al.*, 1986; Kellems *et al.*, 1987; Denigan *et al.*, 1992). De acordo com Huber *et al.* (1985), uma maior produção de leite ocorreu quando a suplementação com fungos esteve associada a uma dieta com maior quantidade de concentrado na dieta.

Levedura (*Saccharomyces cerevisiae*): As leveduras são fungos unicelulares, especialmente do gênero *Saccharomyces*, tradicionalmente utilizados na fermentação do açúcar para consumo humano e ultimamente empregados como aditivos em suplementos alimentares para ruminantes. Na média, os dados publicados indicam que os aditivos microbianos apresentam efeito positivo sobre a produção de leite e o ganho de peso numa magnitude semelhante aos ionóforos (7% de aumento) (Wallace e Newbold, 1993). Alterações no consumo de alimento, na fermentação ruminal e na digestão são as prováveis responsáveis pelo aumento na produção. Os mecanismos pelos quais a levedura favorece o aumento da população de bactérias ainda não estão bem estabelecidos, podendo ser consequência de um aumento na remoção de O₂ do ambiente ruminal (Newbold *et al.*, 1996), pois se sabe que as bactérias celulolíticas são extremamente sensíveis ao oxigênio. Segundo afirmam Roger *et al.* (1990), a remoção do oxigênio adsorvido pelas

partículas de alimento que entram no rúmen pode contribuir para melhorar a colonização do substrato e aumentar a digestibilidade, uma vez que o oxigênio é prejudicial à ligação das bactérias ao substrato, sugerindo que a suplementação com levedura fornece fatores de crescimento solúveis, como ácidos orgânicos, vitamina B e aminoácidos, que são exigidos por certos grupos de microrganismos (Guerzoni e Succi, 1972). Extratos aquosos de *S. cerevisiae* estimularam, em culturas puras, o crescimento e a atividade das bactérias utilizadas de lactato (Nisbet e Martin, 1991; Chaucheyras *et al.*, 1995a, Rossi *et al.*, 1995). A causa desse estímulo parece ser o elevado conteúdo de ácido dicarboxílico, principalmente ácido málico, nas leveduras (Nisbet e Martin, 1991), que serve de intermediário para a transformação de lactato em propionato.

Dessa forma, o pH mais elevado, ou mais estável, pode colaborar para o maior número de bactérias celulolíticas e aumento na digestão da fibra com a suplementação com culturas de fungos (Arambel e Klent, 1990; Mathieu *et al.*, 1996). Esse fato explica também o incremento observado na produção e proporção de propionato no rúmen (Miller-Webster *et al.*, 2002). Pelo efeito no pH ruminal, trabalhos têm sugerido que os efeitos das leveduras têm sido melhores em dietas com alto concentrado em que o pH é geralmente menor (Williams *et al.*, 1991; Mir e Mir, 1994). As leveduras

fornecem vitaminas que favorecem o crescimento de *Neocallimastix frontalis* (Chaucheyras *et al.*, 1995b) e de protozoários no rúmen de novilhos alimentados com palha (Plata *et al.*, 1994), os quais contribuem para o aumento na digestão da fibra. Em adição, a suplementação com levedura pode estimular uma espécie de bactéria acetogênica “hidrogeniotrófica” hábil em usar o H₂ para produção de acetato, em condições *in vitro* (Chaucheyras *et al.*, 1995c). Essas bactérias estão presentes em grande número no rúmen de bezerras recém-nascidos, antes do estabelecimento da metanogênese (Morvan *et al.*, 1994), e em bovinos alimentados com dietas com baixo volumoso (Leedle e Greening, 1988). Nas condições normais do rúmen, essas bactérias utilizam ineficientemente o H₂.

Apesar da observação de que o impacto do uso de levedura ou monensina na produtividade e nos parâmetros de fermentação ruminal de vacas leiteiras foi pequeno, sugere-se que as leveduras possam ser uma melhor opção quando utilizadas em vacas com maior potencial de consumo de matéria seca e/ou inerente capacidade para produção de proteína do leite. Já a monensina pode ser mais apropriadamente usada em vacas com menor potencial de consumo e/ou inerente capacidade para produzir proteína do leite.

β -glucana na dieta: Os efeitos benéficos da ingestão continuada de

β -glucana podem diminuir os riscos de doenças crônicas em humanos e animais. Em estudo sobre a atividade biológica de polissacarídeos da parede celular de *S. cerevisiae* na alimentação de suínos, Kogan e Kocher (2007) ressaltaram a importância do efeito protetor da β -glucana ao organismo pelo estímulo ao sistema imune comum de mucosas, que são áreas permanentemente expostas a patógenos. A β -glucana tem se destacado entre os ingredientes utilizados para produção de alimentos funcionais (Tokunaka et al., 2002; Ramesh; Tharanathan, 2003). Fragmentos obtidos a partir dessa macromolécula, os oligossacarídeos, podem atuar como prebióticos estimulando seletivamente o crescimento de bactérias do trato intestinal, e servindo de fonte energética para a microflora benéfica (Przemyslaw; Piotr, 2003).

Desde a descoberta das propriedades benéficas da β -glucana para animais e humanos, inúmeros processos de isolamento e purificação desse polissacarídeo têm sido desenvolvidos (Freimund et al., 2003).

Enzimas fibrolíticas: O papel elementar dos volumosos é fornecer fibra, que é fonte de carboidratos usados como energia pelos microrganismos ruminais. Os ácidos graxos voláteis produzidos durante o processo de fermentação ruminal são a principal fonte de energia para o animal. A fibra também é essencial para estimular a mastigação,

a produção de saliva e a ruminação, além de ser fonte de nutrientes, como proteínas e minerais. Visando potencializar a utilização dos alimentos fibrosos pelos ruminantes, pesquisas têm sido realizadas com o intuito de aumentar a digestibilidade da MS. Uma das formas encontradas para esse fim é aumentar a quantidade de enzimas fibrolíticas presentes dentro do rúmen e do intestino, o que pode ser conseguido por meio da suplementação com enzimas fibrolíticas exógenas. A maioria das preparações comerciais enzimáticas é um produto da fermentação fúngica, predominantemente das espécies *Trichoderma* e *Aspergillus*, e bacteriana, principalmente *Bacillus*. A celulose e hemicelulose são os principais alvos das enzimas fibrolíticas celulasas e hemicelulasas, respectivamente. A aplicação de enzimas exógenas a rações concentradas para vacas leiteiras aumentou a eficiência alimentar em 6 a 12%, dependendo do nível de adição.

4. Considerações finais

No ecossistema anaeróbico do rúmen, os microrganismos fermentam carboidratos e proteína para obterem nutrientes necessários para seu crescimento. Muitos dos produtos finais dessa fermentação, como os ácidos graxos voláteis e a proteína microbiana, são as principais fontes de nutrientes (energia e nitrogênio) para o ruminante. Em contrapartida, outros produtos da fermentação

tação, como calor, metano e amônia, representam perdas de energia e proteína do alimento para o ambiente. Vários aditivos apresentam potencial para manipular o ambiente ruminal, diminuindo a excreção de compostos nitrogenados e a emissão de metano, que, além de representarem ineficiência do processo fermentativo do rúmen, se constituem em importantes fontes de poluição ambiental. Dentre os aditivos, com exceção dos ionóforos, já se conhece o mecanismo de ação, mas ainda existe a necessidade de mais estudos para estabelecer níveis adequados de suplementação, interações aditivo:microbiologia com os demais componentes da dieta, tipo de dieta, tipo de animal e, principalmente, ação em longo prazo. Porém, a maioria dos efeitos e mecanismos de ação foi estabelecida *in vitro*, e a confirmação dos resultados deve ser feita *in vivo*, determinando a resposta na produção animal e estabelecendo a relação custo:benefício na prática. Além disso, é necessário determinar os efeitos do uso desses aditivos na saúde humana, considerando, entre outros fatores, resistência a bactérias e efeito residual e transferência do princípio ativo através dos produtos de origem animal.

5. Referências Bibliográficas

1. ALLEN, J.D.; HARRISON, D.G. The effect of dietary addition of monensina upon digestion in the stomachs of sheep. *Proceeding of the Nutrition Society*, n.38, p.32A, 1979.
2. ALLISON, M.; HAMMOND, A.C.; JONES, R.J. Detection of rumen bacteria that degrade toxic dihydroxypridine compounds produced from mimosine. *Appl. Exp. Microbiol.*, v.56, p.590-594, 1990.
3. ARAMBEL, M. J., KENT, B. Effect of yeast culture on nutrient digestibility and milk yield response in early- to midlactation dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v.73, p.1560-1563, 1990.
4. CHAUCHEYRAS, F. et al. Effects of a strain of *Saccharomyces cerevisiae* (Levucell SC), a microbial additive for ruminants, on lactate metabolism *in vitro*. *Canad. J. Microbiol.*, v.42, p.927-933, 1995a.
5. CHAUCHEYRAS, F. et al. Effects of live *Saccharomyces cerevisiae* cells on zoospore germination, growth, and cellulolytic activity of the rumen anaerobic fungus. *Neocallimastix frontalis* MCH3. *Current Microbiology*, v.31, p.201-205, 1995b.
6. CHAUCHEYRAS, F. et al. *In vitro* H₂ utilization by a ruminal acetogenic bacterium cultivated alone or in association with an Archaea Methanogen is stimulated by a probiotic strain of *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl. Environ. Microbiol.*, v.61, p.3466-3467, 1995c.
7. DENIGAN, M.E.; HUBER, J.T.; ALDHADRAMI, G.; AL-DEHNEH, A. Influence of feeding varying levels of Amaferm on performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v. 75, p. 1616-1621, 1992.
8. DESWYSEN, A.G. Effect of monensin on voluntary intake, eating and ruminating behavior and rumen motility of heifers fed corn silage. *J. Anim. Sci.*, v. 64, p.827-834, 1987.
9. DEVENDRA, C.; LEWIS, D. Fat in the ruminant diet: a review. *Ind. J. Anim. Sci.*, v.44, p.917-938, 1974. DOREAU, M.; CHILLARD, Y. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *Br. J. Nutr.*, v. 78, p. S15-S30, 1997.
10. EDWARDS, J. E.; KINGSTON-SMITH, A. H.; JIMENEZ, H. R. et al. Dynamics of initial colonization of nonconserved perennial ryegrass by anaerobic fungi in the bovine rumen. *FEMS Microbiol Ecol.*, v. 66, p. 137-45, 2008.
11. FREIMUND, S.; SAUTER, M.; KÄPPELL, O.; DUTLER, H. A new non-degrading isolation process for 1,3-β-D-glucan of high purity from baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Carbohydrate Polymers*, Barking, v. 54, n. 2, p. 159-171, 2003.
12. FULLER, R. Probiotics in man and animals. *J. App. Microbiol.*, v.66, p.365-378, 1989.
13. GALBRAITH, H.; MILLER, T.B.; PATON, A.M.;

- THOMPSON, J.K. Antibacterial activity of long-chain fatty acids and the reversal with calcium, magnesium, ergocalciferol and cholesterol. *J. App. Bacteriol.*, v.34, p.803-813, 1971.
14. GALBRAITH, H.; MILLER, T.B. Effect of long chain fatty acids on bacterial respiration and amino acid uptake. *J. App. Bacteriol.*, v.36, p.659-675, 1973.
 15. GOODRICH, R.D.; GARRETT, J. E.; GAST, D.R., et al. Influence of monensin on the performance of cattle. *J. Anim. Sci.*, v.58, p.1484-98, 1984.
 16. GUERZONI, E.; SUCCI, G. Identification of a peptide, stimulant for acetic bacteria, produced by a strain of *Saccharomyces cerevisiae*. *Ann. Microbiology*, v.22, p.167-173, 1972. HENDERSON, C. The effects of fatty acids on pure cultures of rumen bacteria. *J. Agric. Sci.*, v.81, p.107-112, 1973.
 17. HOBSON, P. N.; STEWART, C. S. (Ed). The rumen microbial ecosystem. Reino Unido, 1997. 719p.
 18. HRISTOV, A.N.; IVAN, M.; NEILL, L.; MCALLISTER, T.A. et al. A survey of potential bioactive agents for reducing protozoal activity in vitro. *Anim. Feed Sci. Tech.*, v.105, p.163-184, 2003. HUBER, J. T.; HIGGINBOTHAM, G. E.; WARE, D. Influence of feeding vitaferm, containing an enzyme-producing culture from *Aspergillus oryzae*, on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.*, v.68(Suppl. 1), 1985.
 19. JENKINS, T.C. Lipidic metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* v.76, p. 3851-63, 1993.
 20. JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.*, v.73, p.2483-92, 1995.
 21. JONES, R. J.; MEGARRITY, R. G. Successful transfer of DHP-degrading bacteria from Hawaiian goats to Australian ruminants to overcome the toxicity of Leucaena. *Aust. Vet. J.*, v.63, p.259-262, 1986.
 22. KELLEMS, R. O.; JOHNSTON, N. P.; WALLENTINE, M. V; et al. Effect of feeding *Aspergillus oryzae* on performance of cows during early lactation. *J. Dairy Sci.*, v. 70 (Suppl. 1), 1987.
 23. KOGAN, G.; KOCHER, A. Role of yeast cell wall polysaccharides in pig nutrition and health protection. *Livestock Science*, v. 109, p. 161-165, 2007.
 24. LEEDLE, J.A.Z.; GREENING, R.C. Postprandial changes in methanogenic and acidogenic bacteria in the rumens of steers fed high- or low-forage diets once daily. *Appl. Environ. Microbiol.*, v.54, p.502-506, 1988.
 25. LONGO, C. *Avaliação in vitro de leguminosas taníferas tropicais para a mitigação de metano entérico*. 2007. 154f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
 26. MACZULAK, A.E.; DEHORITY, B.A.; PALMQUIST, D.L. Effect of long-chain fatty acids on growth of rumen bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, v.42, p.856-862, 1981.
 27. MATHIEU, F.; JOUANY, J. P.; SENAUD, J. et al. The effect of *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus oryzae* on fermentations in the rumen of faunated and defaunated sheep; protozoal and probiotic interactions. *Reprod. Nutr. Dev.*, v. 36, p. 271-87, 1996.
 28. MAY, P.J. Controlling bloat with monensin in cattle fed diets containing lupin seed. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, v.18, p.517, 1990.
 29. MILLER-WEBSTER, T; HOOVER, W.H.; HOLT, M.; NOCEK, J. E. Influence of yeast culture on ruminal microbial metabolism in continuous culture. *J. Dairy Sci.*, v.85, p.2009-2014, 2002. MIR, Z.; MIR, P. S. Effect of the addition of live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on growth and carcass quality of steers fed high-forage or high-grain diets and on feed digestibility and in situ degradability. *J. Anim. Sci.*, v. 72, p. 537-45, 1994.
 30. MORVAN, B.; DORE, J.; RIEU-LESME, F; et al. Establishment of hydrogen-utilizing bacteria in the rumen of the newborn lamb. *FEMS Microbiol. Lett.*, v. 117, p.249-256, 1994.
 31. NAGARAJA, T.G.; NEWBOLD, C.J.; VAN NEVEL, C.J. et al. Manipulation of ruminal fermentation In: HOBSON, N.P. (Ed). Rumen microbial ecosystem. London: Blackie, 1997. p.523-631.
 32. NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient requirements of dairy cattle. 7.rev.ed. Washinton, D.C. 2001. 381p.
 33. NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academy Press, Washington, DC. 1996.
 34. NEWBOLD, C. J.; WALLACE, R. J.; MCINTOSH, F. M. Mode of action of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a feed additive for ruminants. *Br. J. Nutr.*, v. 76, p. 249-61, 1996.
 35. NISBET, D.J.; MARTIN, S.A. Effect of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on lactate utilization by the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *J. Anim. Sci.*, v.69, p.4628-4633, 1991.
 36. 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. *Aust. J. Agric. Res.*, v.43, p. 1789-93, 1992.
37. PEDREIRA, M.S. *Estimativa da produção de metano de origem ruminal por bovinos tendo como base a utilização de alimentos volumosos: utilização da metodologia do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF6)*. 2004. 169f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
 38. PLATA, P. F.; MENDONZA, G. D.; BARCENAGA, J. R.; GONZALEZ, S. Effect of a yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on neutral detergent fiber digestion in steers fed oat straw based diets. *Anim. Feed Sci.*, v. 49, p. 203-10, 1994.
 39. POTTER, E.L.; RAUN, A.P.; COOLEY, C.O.; et al. Effect of monensin on carcass characteristics, carcass composition and efficiency of converting feed to carcass. *J. Anim. Sci.*, v.43, p.678-683, 1976. PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R.T.S.; PEDREIRA, M.S. et al. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesq. agropec. bras.* v. 39, n.3, p. 277-83, 2004a.
 40. PRZEMYSŁAW, J. T.; PIOTR, T. Probiotics and Prebiotics. *Cereal Chemistry*, v. 80, n. 2, p. 113-117, 2003.
 41. RAMESH, H. P.; THARANATHAN, R. N. Carbohydrates – The renewable raw materials of high biotechnological value. *Crit. Rev. Biotechnol.*, v. 23, n. 2, p. 149-173, 2003.
 42. RAUN, A.P.; COOLEY, E.L.; POTTER, R.P. et al. Effect of monensin on feed efficiency of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, v.43, p.670-677, 1976.
 43. ROGER, V. et al. Effects of physiochemical factors on the adhesion to cellulose Avicel of the rumen bacteria *Ruminococcus flavefaciens* and *Fibrobacter succinogenes*. *Appl. Environ. Microbiol.*, v.56, p.3081-3087, 1990.
 44. ROSSI, F. et al. Effect of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on growth and lactate utilization by the ruminal bacterium *Megasphaera elsdenii*. *Ann. Zootech.*, v.44, p.403-409, 1995.
 45. SCHELLING, G.T. Monensin mode of action in the rumen. *J. Anim. Sci.*, v.58, p.1518-1527, 1984.
 46. SPIRES, H.R.; OLMSTED, A.; BERGER, L.L., et al. Efficacy of la idlomycin propionate for increasing rate and efficiency of gain by feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, v.68, p.3382-91, 1990.
 47. STEINFELD, H. et al. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United States-
FAO, 2006. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/magazinr/0612sp1.htm>>. Acessado em: 15 ago. 2014.
 48. TESFA, A.T. Effects of rapeseed oil on rumen enzyme activity and in sacco degradation of grass silage. *Anim. Feed Sci. Tech.*, v.36, p.77-89, 1992.
 49. TOKUNAKA, K.; OHNO, N.; ADACHI, Y.; MIURA, N.N.; YADOMAE, T. Application of Candida solubilized cell wall β -glucan in antitumor immunotherapy against P815 mastocytoma in mice. *Interl Immunopharmacology*, v.2, n. 1, p.59-67, 2002.
 50. UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. 2004. Evaluating Ruminant Livestock Efficiency Projects and Programs In: Peer Review
 51. Draf. Washington, D.C., 200, 48p.
 52. WALLACE, R. J.; NEWBOLD, C. J. *Rumen fermentation and its manipulation: the development of yeast cultures as feed additives*. In: T. P. Lyons (Ed.) *Biotechnology in the Feed Industry*. p. 173. Alltech Technical Publications, Nicholasville, 1993.
 53. WALLENTINE, M. V.; JOHNSTON, N. P.; ANDRUS, D.; et al. The effect of feeding *Aspergillus oryzae* culture-vitamin mix on the performance of lactating dairy cows during periods of heat stress. *J. Dairy Sci.*, v. 69 (Suppl. 1), 1986.
 54. WILKINSON, J.I.D. et al. The use of monensin in European pasture cattle. *Anim. Prod.*, v.31, p.159-62, 1980.
 55. WILLIAMS, P.E.; TAIT, C.A.; INNES, G.M.; NEWBOLD, C.J. Effects of the inclusion of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae* plus growth medium) in the diet of dairy cows on milk yield and forage degradation and fermentation patterns in the rumen of steers. *J. Anim. Sci.* v. 69, p. 3016-26, 1991.
 56. WINA, E., MUETZEL, S., BECKER, K. The impact of saponins or saponin-containing plant materials on ruminant production - A review. *J. Agric. Food Chem.*, v. 53, p. 8093-8105, 2005.
 57. ZEN, S.; BARIONI, L. G.; BONATO, D. B. B. *Pecuária de corte brasileira: impactos ambientais e emissões de gases de efeito estufa*. Piracicaba São Paulo, 2008. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/pdf/Cepea_Carbono_pecuaria_SumExec.pdf> Acessado em: 15 ago. 2014.