

EMISSÃO DE METANO E ÓXIDO NITROSO NA PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTAGENS

MAGDA APARECIDA DE LIMA

1. Introdução

Atividades humanas estão influenciando o clima global em função do aumento nas concentrações de gases responsáveis pelo efeito estufa, em particular, do dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Segundo o IPCC – Intergovernmental Panel Climate Change (1996a), 20% do aumento do forçamento radiativo global é atribuído ao setor agrícola, responsável por 50% da produção de CH_4 e 70% do N_2O de origem antrópica. O uso intensivo dos solos, a queima de resíduos agrícolas, a criação de ruminantes em grandes rebanhos, o cultivo de arroz em campos inundados são algumas das atividades agrícolas que contribuem para as emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE).

Estima-se que uma mudança de temperatura da superfície global em $0,6^\circ\text{C}$ vem ocorrendo desde o final do século XIX com um intervalo de confiança de 95% de $0,4$ a $0,8^\circ\text{C}$. Estudos alertam que, se a taxa atual de aumento de gases de efeito estufa continuar pelo próximo século no planeta, as temperaturas médias globais subirão $0,3^\circ\text{C}$ por década, com uma incerteza de $0,2^\circ\text{C}$ a $0,5^\circ\text{C}$ (Cotton e Pielke, 1995). A agricultura, como atividade fortemente dependente de condições climáticas, será grandemente afetada pela mudança climática global e, por isso, justificam-se as crescentes pesquisas sobre práticas

e formas de manejo menos impactantes e mitigadoras de gases de efeito estufa.

Este texto abordará as fontes de emissão de metano e de óxido nitroso pela produção animal, métodos de mensuração, estimativas e potenciais medidas de mitigação ou redução desses gases.

2. Gases de efeito estufa na produção animal

2.1. Metano

O metano (CH_4) é um importante gás de efeito estufa, apresentando potencial de aquecimento de vinte e uma vezes o do CO_2 (UNFCCC, 2005) e vida útil de catorze anos na atmosfera num horizonte de cem anos (IPCC, 1995). A concentração atmosférica global média de metano é 1.780 ppbv, mais do que o dobro de seu valor no período pré-industrial (800 ppbv) (Dlugokencky, 2001, citado em Mosier et al., 2004). Atribui-se ao CH_4 uma contribuição de 15% do potencial de aquecimento global (Houghton et al., 1990). Cerca de 70% da produção de metano é devida às fontes antrópicas e aproximadamente 30% provém de fontes naturais (Tabela 1). Atividades microbiológicas em ambientes anaeróbicos (áreas inundadas, cultivo de arroz irrigado por inundação, fermentação entérica e processamento anaeróbico de dejetos) constituem a principal fonte de metano, além da queima de biomassa e da indústria de carvão e gás natural.

Sistemas de produção animal são importantes fontes de metano. Este é produzido pela fermentação entérica de ruminantes e durante o processamento anaeróbico de dejetos animais, como lagoas anaeróbicas, e outras formas de manejo de dejetos na forma líquida. Em sistemas a pasto, considera-se que a produção de metano seja insignificante, uma vez que os dejetos são expostos à aeração.

A produção de metano é parte do processo digestivo dos herbívoros ruminantes (gado, búfalos, ovelhas, caprinos, camelos) e acontece no rúmen. A fermentação que ocorre durante o metabolismo dos carboidratos do material vegetal ingerido é um processo anaeróbico efetuado pela população microbiana ruminal e converte os carboidratos celulósicos em ácidos graxos de cadeia curta, principalmente ácidos acético, propiônico e butírico, os quais são utilizados pelo animal como fonte de energia. A fermentação gera também dióxido de carbono (CO_2)

Tabela 1. Estimativas de fontes e sumidouros de metano. (Adaptado de Mosier et al., 1998)

Fontes	Tg CH ₄ . ano ⁻¹
Naturais	
Áreas úmidas (várzeas)	100-200
Térmitas	10-50
Oceanos	5-20
Água doce	1-25
Outras	0-5
Antropogênicas	
Mineração de carvão, gás natural	70-120
Cultivo de arroz irrigado por inundação	20-150
Fermentação entérica	65-100
Dejetos animais	10-30
Tratamento de esgoto doméstico	25
Aterros	20-70
Queima de biomassa	20-80
Sumidouros	
Atmosférico (troposférico + estratosférico)	420-520
Remoção pelos solos	15-45
Aumento atmosférico	28-37

Tg = Teragrama = 10¹² g

e hidrogênio (H₂). As *Archae* metanogênicas presentes no ambiente anaeróbico obtêm energia para seu crescimento utilizando H₂ para reduzir CO₂ ou formar metano (CH₄), que é então eructado ou exalado para a atmosfera. A emissão de metano pelo animal representa uma perda de energia que resulta em uma eficiência reduzida do uso da energia alimentar, argumento que tem levado estudiosos a considerar meios de reduzir essa perda na pecuária doméstica, ao mesmo tempo que se almeja um aumento da eficiência produtiva.

Geralmente, quanto maior o consumo de alimento, maior a emissão de metano, embora a extensão da sua produção possa também ser afetada pelo tipo de dieta. O consumo de alimento, por sua vez, está relacionado com o tamanho do animal, a estação do ano, a taxa de crescimento e a produção (leite, carne, crescimento de lã ou prenhez).

Kurihara et al. (1999) registraram que as emissões de metano de gado alimentado com forragem tropical de média qualidade foram de 257 g/dia⁻¹, comparadas com 160 g/dia⁻¹ para uma dieta rica em grãos tipicamente de regiões temperadas. Ao expressar esse valor por unidade de ganho de peso vivo, o gado alimentado com dieta à

base de forragem produziu 500 g de metano por quilo de ganho de peso vivo, comparado com 127 g de $\text{CH}_4 \text{ kg}^{-1}$ de ganho de peso vivo para gado alimentado com dieta à base de grãos. Concluíram então que dietas tropicais produzem cerca de 3,5 vezes mais metano por unidade de produção do que dietas temperadas.

A quantidade de metano emitido por uma população de animais é calculada pela multiplicação da taxa de emissão por animal pelo número de animais da população. Os animais são, por sua vez, divididos em subgrupos para as estimativas de emissão de metano. A Tabela 2 mostra valores-padrão médios de emissão de metano provenientes de ruminantes e não ruminantes, atribuídos à América Latina, segundo o IPCC (2006). No Brasil, são estimados 165 milhões de cabeças de bovinos em 2005 (FNP, 2005), sendo considerado o maior rebanho bovino do mundo com fins comerciais, o que o torna um importante contribuinte em emissões de metano por fermentação entérica, sobretudo levando em conta a grande proporção de rebanho sob manejo a pasto.

Tabela 2. Valores padrão (*default*) de emissão de metano por fermentação entérica, por categoria animal, para a América Latina. (IPCC, 2006)

Categoria animal	Emissão de metano (kg/cabeça/ano)
Gado de leite	63
Outro gado	56
Bubalinos	55
Ovinos	5
Caprinos	5
Eqüinos	18
Camelos	46
Mulas e asnos	10
Suínos	1

A composição do dejetos é determinada pela dieta animal, de modo que, quanto maior o conteúdo de energia e a digestibilidade do alimento, maior a capacidade de produção de metano. Um gado alimentado com uma dieta de alta qualidade produz um dejetos altamente biodegradável, com maior potencial de gerar metano e óxido nítrico, ao passo que um gado alimentado com uma dieta mais fibrosa produzirá um dejetos menos biodegradável, contendo material

orgânico mais complexo, tal como celulose, hemicelulose e lignina. Essa segunda situação estaria mais associada ao gado criado a pasto em condições tropicais. As maiores emissões de metano proveniente de dejetos animais estão associadas a animais criados sob manejo intensivo.

O maior sumidouro de metano na atmosfera é sua reação com radicais hidroxila (OH) na troposfera, estimado em 420-520 Tg por ano (Mosier et al., 2004). O maior sumidouro biológico de metano em ecossistemas terrestres é formado pelos microrganismos de solos aeróbicos (Steudler et al., 1989). O metano do solo pode ser oxidado por bactérias metanotróficas e nitrificantes. Mosier et al. (1991), ao medirem o efeito da fertilização em pastagens no Colorado, concluíram que a elevada reciclagem de nitrogênio suprimiu a fixação de metano.

2.2. Óxido nitroso

O óxido nitroso é um gás traço reconhecido por seu papel no aquecimento global e na destruição da camada de ozônio na estratosfera, que protege a biosfera dos efeitos danosos da radiação ultravioleta solar (Crutzen, 1981). O potencial de aquecimento global do óxido nitroso equivale a 310 vezes o dióxido de carbono (CO₂) (UNFCCC, 2005) e sua vida útil na atmosfera é estimada em 120 anos (IPCC, 1995). A concentração atual de N₂O atmosférico é de cerca de 317 ppbv, tendo aumentado em relação a 1900 (aproximadamente 275 ppbv). A maior parte desse aumento ocorreu durante os últimos cinquenta anos, numa taxa anual de 0,7 ppbv (Mosier et al., 2004). Atribui-se ao N₂O uma contribuição de 5% do potencial de aquecimento global (Houghton et al., 1990). Acredita-se que a tendência de aumento das concentrações desse gás irá continuar nas próximas décadas, em função do crescente consumo de fertilizantes nitrogenados na agricultura.

Do total de emissões de origem antrópica, a agricultura é responsável por 70% das emissões de N₂O, incluindo culturas agrícolas e pecuária. A queima de biomassa constitui outra fonte de emissão de N₂O (IPCC, 1995). A contribuição dos solos cultivados para as emissões de N₂O é devida principalmente aos processos microbiológicos de denitrificação e de nitrificação que ocorrem neles. A denitrificação é o processo pelo qual o nitrato (NO₃⁻) e o nitrito (NO₂⁻) são reduzidos

para formar compostos como óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N_2O) e nitrogênio (N_2). O óxido nitroso também é produzido no processo de nitrificação, pelo qual microrganismos oxidantes do amônio utilizariam o nitrito (NO_2^-) como aceptor final de elétrons, para minimizar a acumulação intracelular de níveis tóxicos de nitrito (Ritchie e Nicholas, 1972). Um método baseado na sensibilidade diferencial da nitrificação e da nitrificação à inibição dioacetileno tem sido utilizado para distinguir esses dois processos como fontes de óxido nitroso (Maag e Vinther, 1996).

Os principais fatores que controlam a produção de N_2O no solo são os conteúdos de nitrogênio mineral (amônio e nitrato) (Bowman, 1990), conteúdo de matéria orgânica, umidade, espaço de poros preenchido com água e temperatura (Dobbie e Smith, 2001; Keeney et al., 1979). Estudos mostram que a adição de nitrogênio por meio de fertilizantes minerais ou dejetos animais pode levar a um aumento das emissões de N_2O (Granli e Beckman, 1994; Henault et al., 1998; Kaiser et al., 1998; Smith et al., 1998). Em regiões com períodos seco e úmido distintos, a chuva pode ter efeito positivo na produção de N_2O , com o reumedecimento do solo, estimulando a atividade microbiana (Davidson et al., 1993). Mosier et al. (1991), estudando fluxos de óxido nitroso e de metano em solos de pastagens temperadas cultivadas, registraram aumento de efluxo de óxido nitroso imediatamente após a ocorrência de chuva. Verificaram que a adição de fertilizante nitrogenado aumentou as emissões de óxido nitroso do solo por um fator de 2-3, sendo que a influência da fertilização nitrogenada sobre o fluxo de N_2O foi mais evidente nos solos úmidos. Registraram também que a fertilização nitrogenada reduziu a fixação de metano, sugerindo que a alta reciclagem de N, em condições naturais ou devido à fertilização, suprime a fixação de CH_4 .

Não obstante o fato de haver muitos estudos já realizados em diferentes ecossistemas, desconhece-se ainda a magnitude e o padrão espacial das emissões de N_2O no planeta. Atribuem-se aos solos tropicais taxas mais elevadas de emissões de N_2O em relação a regiões temperadas (Bouwman, 1998), sobretudo quando da conversão de florestas para pastagem ou terra cultivada (Mosier et al., 1991). Não existem medidas de fluxos de N_2O de longa data disponíveis para regiões tropicais e subtropicais. Há evidências, entretanto, de que

as emissões de N_2O são baixas em sistemas de pastagem extensiva (Reid et al., 2004), devido ao aporte de dejetos animais com grande quantidade de fibras e baixo teor de compostos de nitrogênio e relativamente menor uso de fertilizantes nitrogenados, em comparação com sistemas de manejo intensivos.

3. Métodos de mensuração

3.1. Mensuração de metano por fermentação entérica em bovinos

Há vários métodos desenvolvidos para a mensuração de gás metano proveniente de ruminantes, como os descritos na Tabela 3. Para animais a pasto, situação tipicamente encontrada nas regiões tropicais, o método mais indicado e normalmente utilizado é o do traçador interno SF_6 .

Tabela 3. Métodos desenvolvidos para a mensuração de metano em ruminantes, suas vantagens e desvantagens. (US.EPA, 2000)

Método	Aplicabilidade	Vantagens	Desvantagens
Método de enclausuramento	Animais que não pastejam	<ul style="list-style-type: none"> • Acurado • Bem estabelecido 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer câmaras especialmente construídas com equipamentos avançados • Oneroso • Confinamento pode causar estresse • Requer muito treinamento do animal
Método de traçador interno	Animais em pastejo ou não	<ul style="list-style-type: none"> • Não há necessidade de enclausurar o animal • Acurado • Não requer alto nível tecnológico 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer introdução de um gás traçador no animal • Nível moderado de treinamento do animal para o uso do cabresto, cangas • Manuseio adicional requerido durante a medição
Método de traçador externo	Pequenos grupos de animais em pastejo ou não	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo animal não é modificado para a condução das mensurações 	<ul style="list-style-type: none"> • Muito difícil de medir emissões de metano em períodos extensos (por exemplo, 24 horas) devido às condições meteorológicas variáveis • Requer alto nível de tecnologia e <i>expertise</i> • Não está bem estabelecido
Método micro-meteorológico	Pequenos grupos de animais em pastagem ou não	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo animal não é modificado para a condução das mensurações 	<ul style="list-style-type: none"> • Muito difícil de medir emissões de metano em períodos extensos (por exemplo, 24 horas) devido às condições meteorológicas variáveis • Requer alto nível de tecnologia e <i>expertise</i> • Equipamento é oneroso • Não está bem estabelecido

O método do traçador interno utilizando hexafluoreto de enxofre (SF_6) foi desenvolvido por Johnson e Johnson (1995) para medir emissões individuais e de animais em condições de pastejo e consiste em colocar no rúmen do animal um tubo de permeação que libera o SF_6 a uma taxa previamente determinada por gravimetria, de modo que amostras de metano são coletadas nas proximidades da boca e do nariz do animal.

A amostragem consiste em coletas diárias de amostras de metano, pelo menos por cinco dias consecutivos, em animais equipados com um aparato de coleta de amostras de ar, constituído por tubo de permeação com placa porosa, cabresto (com tubo capilar de aço inoxidável) e canga oca (recipiente fabricado com cano de PVC de alta resistência, submetido a vácuo interno) acoplado a uma válvula de metal e engate rápido (Westberg et al., 1998).

Assume-se nesse método que o padrão de emissão de SF_6 simule o padrão de emissão de CH_4 e as concentrações do metano e do traçador são então determinadas usando cromatografia gasosa ou outros métodos de quantificação. As leituras das concentrações de CH_4 e de SF_6 são realizadas em cromatógrafo a gás equipado com injetores acoplados a duas válvulas automatizadas, detectores de ionização de chama e de captura de elétrons e com as colunas capilares Plot HP-Al/M e HP-MolSiv. A partir da taxa conhecida de liberação do traçador no rúmen, das concentrações de metano e do traçador nas amostras de gás medidas, o fluxo de metano liberado pelo animal é calculado em relação ao fluxo de SF_6 medido (US.EPA, 2000).

Conforme levantamento realizado por Lassey (2005), o método do traçador interno SF_6 tem sido adotado por países de diferentes continentes, incluindo Estados Unidos (Pavao-Zuckerman et al., 1999; Johnson et al., 2000; Westberg et al., 2001; DeRamus et al., 2003), Canadá (McCaughey et al., 1997, 1999; Boadi et al., 2002), Nova Zelândia (Lassey et al., 1997, 2002; Judd et al., 1999; Lassey e Ulyatt, 2000; Ulyatt et al., 2002a, b; Pinares-Patiño et al., 2003a), Austrália (Leuning et al., 1999), Irlanda (F. O'Mara, University College Dublin, 2001), France (Pinares-Patiño et al., 2003b), Brasil (Primavesi et al., 2004; Demarchi et al., 2003), Uruguai (Martino et al., 2003), Índia (A. K. Srivastava, National Dairy Development Board, Gujarat, 2003); China (H. Dong, Agrometeorology Institute, Beijing).

3.2. Mensuração de óxido nitroso

A avaliação de emissões de óxido nitroso em ecossistemas agrícolas é muito difícil devido à sua grande variabilidade espaço-temporal. Ball et al. (1997), estudando a variabilidade espacial de fluxos de N_2O , encontraram uma forte correlação entre o conteúdo de nitrato e amônio no solo e os fluxos de N_2O e que, além desses elementos, os conteúdos de água e a permeabilidade do solo podem contribuir para a variabilidade das emissões de óxido nitroso.

O método mais amplamente usado é o da câmara fechada (*static closed chamber*) (Smith et al., 1995; IAEA, 1992; Hutchinson e Mosier, 1981). As câmaras consistem de cilindros de PVC com diâmetros variáveis (20 a 40 cm) e altura de 20 cm, aproximadamente, abertas no topo e na parte inferior, na forma de anéis. A parte inferior é inserida no solo com antecedência, a uma profundidade de 5 cm, para garantir um efeito de isolamento do gás na câmara. No momento da amostragem, as câmaras são seladas com as tampas por uma hora e amostras de ar de dentro das câmaras são retiradas com seringas de 30 mL ou com frascos de vidro de 20 mL. As amostras de óxido nitroso são então analisadas em um cromatógrafo a gás com detector de captura de elétron (ECD).

Outros métodos de amostragem consistem em câmaras abertas (Ryden et al., 1978; Denmead, 1979), amostragem automatizada (sistema de fluxo de gás com transferência periódica de amostras para o cromatógrafo a gás) e métodos micrometeorológicos (Wagner-Riddle, 2006; Denmead et al., 1983; Wilson et al., 1983).

4. Estimativas de emissão de gases em sistemas de produção animal

4.1. Estimativas de emissão de metano entérico de bovinos

Do total de emissões globais de CH_4 de origem antrópica (370 Tg¹), a média estimada de metano emitido a partir dos processos entéricos é de aproximadamente 80 Tg/ano (Mosier et al., 1998), e as provenientes de dejetos animais são estimadas na faixa de 10-20 Tg/ano (Mosier et al., 2004).

1. Tg = 10^{12} g

No Brasil, foram estimadas para o ano de 1994 emissões de 9,77 Tg de CH_4 /ano provenientes da pecuária, correspondendo 9,38 Tg (96%) ao processo de fermentação entérica e 0,39 Tg (4%), a dejetos animais (MCT, 2006b; Lima et al., 2001). Ao total de metano atribuído à fermentação entérica, a categoria de bovinos de corte contribuiu com 81%. Destaca-se que grande proporção da população bovina nacional é constituída de raças zebuínas, em condição de manejo a pasto, especialmente com *Brachiaria* sp. (Demarchi et al., 2003).

Demarchi et al. (2003), aplicando a metodologia do traçador interno SF_6 em bovinos de corte da raça Nelore, em pasto de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, encontraram um valor médio de emissões no rebanho de 51,79 kg/cabeça/ano, inferior ao valor padrão (default) preconizado pelo IPCC (1996b). Esses autores também indicaram um efeito sazonal nas emissões de metano, refletindo as condições nutricionais da pastagem sob condição seca e úmida. Em seus experimentos com gado Nelore, verificaram que a taxa de conversão de metano ou de perdas de energia digestível na primavera (10,6%) foi inferior à registrada no inverno (11,9%). Primavesi et al. (2004), entretanto, estudando animais da raça Holandesa e mestiços (Holandesa e Zebu), indicaram pouca diferença nas emissões de CH_4 nas estações de verão e outono. No verão, as vacas holandesas em lactação e as vacas secas emitiram, respectivamente, 147 kg de $\text{CH}_4 \cdot \text{ano}^{-1}$ e 101 kg de $\text{CH}_4 \cdot \text{ano}^{-1}$, enquanto as mestiças em lactação e as secas emitiram, respectivamente, 121 kg e 107 kg de $\text{CH}_4 \cdot \text{ano}^{-1}$. No outono, as vacas holandesas em lactação e as vacas secas emitiram, respectivamente, 139 kg de $\text{CH}_4 \cdot \text{ano}^{-1}$ e 94 kg de $\text{CH}_4 \cdot \text{ano}^{-1}$, enquanto as mestiças lactantes e secas emitiram, respectivamente, 108 kg e 86 kg de $\text{CH}_4 \cdot \text{ano}^{-1}$.

A influência de diferentes alimentos e dietas na produção de CH_4 por bovinos tem sido recentemente tema de estudos no Brasil. Em um estudo realizado com animais das raças Holandesa e mestiça (Holandesa e Gir) de diferentes categorias, mantidos em pastagem, Pedreira (2004) observou que não houve efeito de diferentes variedades de cana-de-açúcar sobre a produção de CH_4 , mas o fornecimento de alimentos concentrados proporcionou aumento na ingestão de nutrientes pelos animais e, conseqüentemente, maior produção de CH_4 por dia. Entretanto, verificou que a produção de CH_4 foi reduzida por

unidade de matéria seca, matéria orgânica e energia digestível ingerida. Segundo o autor, a produção máxima de CH_4 (150,71 g/dia) ocorreu com uma proporção de 36,6% de concentrado na dieta, e com 60% de concentrado a produção de CH_4 apresentou tendência de queda.

Berchielli et al. (2003), estudando gado de corte, verificou que o fornecimento de silagem de sorgo sem adição de concentrado propiciou menor emissão de CH_4 em relação ao peso vivo dos animais e que a adição de 30% de concentrado à dieta levou a um aumento das emissões, sugerindo que outras variáveis devem influir no processo de emissão de CH_4 .

Pedreira et al. (2003) estudaram a influência de dietas de novilhas mestiças leiteiras na produção de metano. Usando diferentes variedades de cana-de-açúcar, com suplementação de concentrado ou uréia para novilhas mestiças leiteiras, concluíram que a adição de alimento concentrado à cana-de-açúcar proporcionou maior consumo de matéria seca e de energia bruta pelos animais e, por conseguinte, maior produção de metano. Entretanto, observou-se redução de perda de energia bruta em forma de metano à medida que houve aumento da ingestão de matéria seca com maior densidade energética e protéica, menos fibrosa, na forma de concentrado. Recentes trabalhos indicam um efeito potencial de taninos condensados como agentes inibidores da metanogênese ruminal, mas os mecanismos envolvidos no processo não estão ainda bem elucidados, o que torna este estudo muito atraente para os nutricionistas. Em experimento realizado por Woodward et al. (2001), verificou-se que o fornecimento de dietas contendo 2,59% de taninos condensados na matéria seca de *Lotus comiculatus* propiciou menor produção de metano por unidade de matéria seca ingerida por bovinos.

Estudos com gado a pasto sugerem a existência de diferenças quanto à produção de metano entre raças e categorias (Pedreira, 2004), motivo que vem despertando mais estudos envolvendo a relação entre emissão de metano e eficiência de produção.

4.2. Estimativas de emissão de óxido nitroso proveniente de áreas de pastagem

As emissões globais de óxido nitroso são estimadas em 3,7 a 7,7 Tg N/ano, com uma média provável de 5,7 Tg N/ano (IPCC, 1995).

As emissões diretas de N_2O a partir de solos agrícolas somam 2,5 Tg N/ano; as emissões diretas de animais em pastagem, 1,6 Tg N/ano; e as emissões indiretas (volatilização, lixiviação etc.), 1,9 Tg N/ano.

No Brasil, em 1994 (ano de referência do primeiro inventário de emissão de gases de efeito estufa), foi estimado um total de 475,99 Gg de N_2O , dos quais 125,72 Gg (26%) corresponderam a emissões diretas de solos agrícolas, 218,50 Gg (46%) a emissões a partir de animais em pastagem e 131,77 Gg (28%) a emissões indiretas (MCT, 2006b; Lima et al., 2001). Ainda que revestidas de grande incerteza, essas estimativas apontam fontes importantes de gases de efeito estufa na agricultura brasileira e, portanto, despertam o interesse pelo estudo de impactos ambientais de sistemas de manejo agrícola atualmente praticados. No Brasil, ainda se observa escassa literatura sobre avaliações de emissão de óxido nitroso em ecossistemas agrícolas. A maior parte desses trabalhos concentra-se em ecossistemas da Amazônia, sobretudo em áreas de conversão de uso da terra (floresta – pastagem) (Neill et al., 2005; Garcia-Montiel, 2003; Davidson et al., 2001) e sistemas agrícolas em área do Cerrado (Davidson et al., 2001; Carvalho et al., 2006).

Smith et al. (1998) verificaram que solos agrícolas fertilizados, especialmente os de pastagens intensivas, são a principal fonte de emissão de N_2O na Inglaterra. Esses autores observaram que as emissões de N_2O a partir de pastagens fertilizadas, especialmente pastagens sob regime de pastoreio, foram geralmente maiores do que as registradas para culturas de cereais. O pastejo de animais aumenta as emissões pelos solos sob pastagem porque cria concentrações localizadas de nitrogênio mineral por meio da deposição de urina e fezes e por submeter o solo a compactação pelo pisoteio de animais, reduzindo assim o espaço de poros preenchidos com ar.

Resíduos vegetais, adubo verde e dejetos animais ricos em carbono têm sido relacionados ao aumento das taxas de denitrificação. Contudo, se o solo for limitante em nitrogênio, as perdas por denitrificação poderão ser reduzidas, devido à imobilização do N causada pela decomposição de resíduos que possuem maiores relações C : N (Fredrickson et al., 1981, citado por Pathak, 1999). Cabrera et al. (1994) registraram que a taxa mais alta de emissão ocorreu nos primeiros dias após a aplicação de resíduos de suínos.

5. Mitigação das emissões de gases

5.1. Estratégias potenciais para a redução da emissão de metano por fermentação entérica

Há ainda um consenso de que a melhor possibilidade, no curto prazo, para mitigar as emissões de metano baseia-se na melhoria da eficiência animal. Devido à intensa pressão ambiental e econômica, pode-se assumir que a tendência da pecuária em países em desenvolvimento, mesmo que ocorra em ritmo lento, é a de intensificação dos sistemas de produção, por meio de pastagens bem manejadas, integração lavoura-pecuária, irrigação, entre outras possibilidades. Entre as estratégias de mitigação consideradas até o presente momento, podem ser mencionadas:

- Suplementação alimentar para ruminantes sob manejo extensivo. Emissões de metano podem ser reduzidas através da melhoria da digestão fermentativa no rúmen. Isso pode ser obtido com dietas baseadas em uréia e proteínas e com o abastecimento de nutrientes vitais ao gado. No Brasil, a maior parte das emissões de metano provêm da pecuária extensiva, e a suplementação mineral e de grãos para gado a pasto constitui frequentemente um fator limitante. Gramíneas consorciadas com leguminosas ricas em proteínas podem vir a ser uma opção. Como já mencionado, as emissões de metano variam de acordo com a composição da dieta. Assim, dietas que promovem menores taxas de emissões de metano devem ser incentivadas. Como exemplo, Primavesi et al. (2004) sugerem que a cana-de-açúcar picada, quando adequadamente corrigida, pode melhorar a eficiência nutricional e reduzir a emissão de metano ruminal. No Brasil, aproximadamente 5% do gado bovino é criado em sistema de confinamento (FNP, 2005) e pouco se conhece sobre o efeito de dietas sobre a produção de metano.
- Aumento da produtividade animal, através da suplementação alimentar, controle de doenças, inseminação artificial, melhoramento genético, inclusive da eficiência de conversão de alimento pelos animais. Trata-se de uma estratégia que visa reduzir as emissões de metano por unidade de carne ou leite produzido. Há ainda a possibilidade de explorar as diferenças genéticas entre animais de diferentes raças ou cruzamentos

quanto ao potencial de emissão de metano, considerando o mesmo consumo de alimento.

- Manipulação do ecossistema microbiano ruminal. Consiste em intervenções microbianas com o intuito de promover o crescimento de microrganismos de interesse à produção, favorecendo-as na competição com outros microrganismos.
- Manipulação da dieta. A diminuição de fibras e o aumento de amido e lipídios tendem a reduzir a emissão de metano. Há evidências de que a adição de ácidos graxos de cadeia média não saturados ao rúmen diminui a emissão de metano. Algumas plantas, como a *Lotus corniculatus*, leguminosa que contém tanino condensado, vêm sendo testadas quanto às suas propriedades antimetanogênicas.
- Estimuladores de crescimento. A produção de agentes de crescimento, como esteróides anabólicos, reduz as emissões de metano, devido ao fato de que os animais atingem o peso de abate num período mais curto de tempo.
- Imunização. Cientistas australianos (CSIRO) vêm desenvolvendo uma vacina que contém um antígeno derivado de microrganismos ruminais, com o objetivo de redução na produção de metano, além de um preparado imunogênico que reduz a atividade de protozoários do rúmen.
- Antibióticos e ionóforos aumentam a eficiência de conversão de alimento, com conseqüente redução das emissões de metano. Eles inibem as metanogênicas, mas não as bactérias responsáveis pela fermentação da celulose. Entretanto, esses aditivos alimentares são onerosos e os animais necessitam ser tratados freqüentemente.

Há também outras alternativas, como o emprego de agentes defaunantes, considerando que as *Archae* metanogênicas são encontradas no rúmen, vivendo em relação simbiótica com protozoários ciliados ou aceptores de hidrogênio (sulfeto e nitrato), cujas restrições quanto à sua toxicidade os tornam menos aconselháveis.

5.2. Estratégias potenciais para redução de produção de óxido nitroso

Tecnologias disponíveis para melhoria do manejo de nitrogênio incluem o uso de agricultura de precisão para estimar as necessidades

reais de fertilização nitrogenada, definição da época de aplicação de N, aplicações múltiplas de nitrogênio, uso de culturas de cobertura ou entre-safras para recuperar o N residual, uso de inibidores de nitrificação.

Uma estratégia para limitar a emissão de N_2O dos solos fertilizados é o uso de inibidores de nitrificação, que retardam a oxidação de amônio a nitrato e, conseqüentemente, reduzem as perdas de óxido nitroso durante os processos de nitrificação e denitrificação. Exemplos de inibidores são: nitrapirina, acetileno (Blackmer et al., 1980), DCD (Delgado e Mosier, 1996), midina (AM) e cicloheximida (Castaldi e Smith, 1998).

Petersen (1999), estudando o efeito da adição de fertilizante na forma mineral (uréia) e esterco líquido na forma bruta (não tratada) e submetido à digestão, observou que o solo fertilizado com uréia apresentou menores fluxos de N_2O , em comparação com o fertilizado com esterco líquido não tratado. Os fluxos de N_2O nos solos onde a uréia foi aplicada mostraram um aumento gradual de 0 a 10-15 g de N_2O-N $ha^{-1} d^{-1}$ após 30 a 40 dias em todos os tratamentos. No tratamento com o esterco líquido não tratado, os fluxos foram inicialmente de 10-25 g de N_2O-N $ha^{-1} d^{-1}$, sendo que uma taxa máxima foi registrada em duas a três semanas após a fertilização, e um segundo máximo foi indicado após 30 a 40 dias.

Dalal et al. (2003) acrescentam outras práticas para melhorar a eficiência do uso de nitrogênio e para minimizar as emissões de N_2O proveniente de solos fertilizados: 1) aplicação de fertilizantes em níveis ótimos levando em conta todas as fontes disponíveis para a cultura/pastagem do solo e de outras fontes de N, como o esterco ou dejetos animais; 2) evitar aplicação de superfície tal que as perdas de N do fertilizante sejam minimizadas e a utilização vegetal seja maximizada, incorporando o N com o solo, disponibilizando-o próximo às raízes; 3) monitorar e ajustar o equipamento de aplicação de fertilizantes para assegurar a precisão e a quantidade aplicada.

6. Considerações finais

Com o aumento das áreas agrícolas e da demanda por alimento, em função do crescimento populacional global previsto, as emissões

de gases de efeito estufa deverão aumentar significativamente no planeta. No Brasil, com o continuado avanço da fronteira agrícola em direção à região de trópicos úmidos e cerrados, são esperados aumentos progressivos de emissões de metano e de óxido nítrico, bem como de óxido nítrico (NO) e dióxido de carbono (CO₂). Para tanto, é preciso conhecer os processos de produção desses gases sob diferentes manejos agrícolas, desenvolver experimentos de longo prazo e realizar freqüentes medições de fluxos, de modo a quantificar e monitorar as contribuições desses sistemas para as emissões de gases e desenvolver tecnologias mitigadoras e ao mesmo tempo orientadas para o não-desperdício dos recursos naturais.

7. Referências bibliográficas

- BALL, B. C.; HORGAN, G. W.; CLAYTON, H.; PARKER, J. P. Spatial variability of nitrous oxide fluxes and controlling soil and topographic properties. **J. Environ. Qual.** v. 26, n. 5, p. 1399-409, 1997.
- BERCHIELLI, T. T.; PEDREIRA, M. S.; OLIVEIRA, S. G.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M. A.; FRIGHETTO, R. T. S. Determinação da produção de metano e pH ruminal em bovinos de corte alimentados com diferentes relações volumoso: concentrado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40, 21-24/7/2003, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; SBZ, 2003. (CD-ROM). Anais de Resumos, Área de Nutrição de Ruminantes.
- BLACKMER, A. M.; BREMNER, J. M.; SCHMIDT, E. L. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 40, p. 1060-6, 1980.
- BOADI, D. A.; WITTEMBERG, K. M. Methane production from dairy and beef heifers fed forages differing in nutrient density using the sulphur hexafluoride (SF₆) tracer gas technique. **Can. J. Anim. Sci.**, v. 82, p. 201-6, 2002.
- BOUWMAN, A. F. Nitrogen oxides and tropical agriculture. **Nature**, v. 392, p. 866-7, 1998.
- BOUWMAN, A. F. (ed.). **Soils and greenhouse effect.** J. Willey and Sons, Chichester, 1990.
- CABRERA, M. L.; CHIANG, S. C.; MERKA, W. C.; PANCORBO, O. C.; THOMPSON, O. C. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 58, p. 807-11, 1994.
- CARVALHO, A. M. de; BUSTAMANTE, M. M. C.; KOZOVITS, A. R.; MIRANDA, L. N.; VIVALDI, L. J.; SOUZA, D. M. Emissão de óxidos de nitrogênio associada à aplicação de uréia sob plantio convencional e direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 679-85. 2006.
- CASTALDI, S.; SMITH, K. A. Effect of cycloheximide on N₂O and NO₃⁻ production in a forest and an agricultural soil. **Biol. Fert. Soils**, v. 27, p. 27-34, 1998.
- COTTON, W. R.; PIELKE, R. A. **Human impacts on weather and climate.** Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 288p.

- CRUTZEN, O. J. Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen including nitrous oxide. In: DELWICHE, C. C. (ed.). **Denitrification, nitrification and atmospheric nitrous oxide**. New York, Wiley, p. 17-44, 1981.
- DALAL, R. C.; WANG, W.; ROBERTSON, G. P.; PARTON, W. J. Nitrous oxide emission from Australia agricultural lands and mitigation options: a review. **Australian Journal of Soil Research**, v. 41, p. 165-95, 2003.
- DAVIDSON, E. A.; BUSTAMANTE, M. C.; PINTO, A. S. Emissions of nitrous oxide and nitric oxide from soils of native and exotic ecosystems of the Amazon and Cerrado regions of Brazil. **The Scientific World**, 1 (S2), p. 312-9, 2001.
- DAVIDSON, E. A.; MATSON, P. A.; VITOUSEK, P. M.; RILEY, R.; DUNKIN, K.; GARCIA-MENDEZ, G.; MAASS, J. M. Processes regulating soil emissions of NO and N₂O in a Seasonally dry tropical forest. **Ecology**, v. 74, n. 1, p. 130-9, 1993.
- DELGADO, J. A.; MOSIER, A. R. Mitigation alternatives to decrease nitrous oxide emissions and urea-nitrogen loss and their effect on methane flux. **J. Environ. Qual.**, v. 25, p. 1105-11, 1996.
- DEMARCHI, J. J. A. A.; MANELLA, M. Q.; LOURENÇO, A. J.; ALLEONI, G. F.; FRIGHETTO, R. T. S.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M. A. T. T. Preliminary results on methane emission by Nelore cattle in Brazil grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. In: INTERNATIONAL METHANE & NITROUS OXIDE MITIGATION CONFERENCE, 3., 17-21/11/2003, Beijing, China. **Proceedings II...** Beijing: China Coal Information Institute, 2003. (CD-ROM). Session – Grassland and forage crops, p. 80-2, 2003.
- DENMEAD, O. T. Chamber systems for measuring nitrous oxide emissions from soils in the field. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, v. 43, p. 89-95, 1979.
- DENMEAD, O. T. Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field. In: FRENEY, J. R.; SIMPSON, J. R. (eds.). **Gaseous loss of nitrogen from plant-soil-systems**, Nyhoff Junk Publ., The Hague, p. 133-57. 1983.
- DERAMU, H. A.; CLEMENT, T. C.; GIAMPOLA, D. D.; DICKISON, P. C. Methane emissions of beef cattle on forages: efficiency of grazing management systems. **J. Environ. Qual.**, v. 32, p. 269-77, 2003.
- DLUGOKENCKY, E. NOAA CMDL Carbon Cycle Greenhouse Gases, global average atmospheric methane mixing ratios, NOAA CMDL cooperative air sampling network. <http://www.cmdl.noaa.gov/ccg/figures/ch4trend.global.gif>, 2001.
- DO CARMO, J. B.; DE ANDRADE, C. A.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. D. Nitrogen availability and N₂O fluxes from pasture soil after herbicide application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 735-46, 2005.
- DOBBIE, K. E.; SMITH, K. A. The effects of temperature, water-filled por space and land use on N₂O emissions from an imperfectly drained gleysol. **European Journal of Soil Science**, v. 52, p. 667-73, 2001.
- FNP. **Anualpec – Anuário da Pecuária Brasileira**. São Paulo: Instituto FNP, 2005. 340p.
- FREDRICKSON, J. K.; KOEHLER, F. E.; CHENG, H. H. **Agron. Abstr. Am. Soc. Agron.**, Madison, Wisconsin, p. 176, 1981.

- GARCIA-MONTIEL, D. C.; MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. C. Carbon limitations to nitrous oxide emissions in a humid tropical forest of the Brazilian Amazon. **Biol. Fertil. Soils**, v. 38, p. 267-72, 2003.
- GRANLI, T.; BECKMAN, O. C. Nitrous oxide from agriculture. **Norwegian Journal of Agricultural Sciences**. Supplement n. 12, p. 1-128, 1994.
- HENAULT, C.; DEVIS, X.; PAGE, S. et al. Nitrous oxide emissions under different soil and land management conditions. **Biology and Fertility of Soils**, v. 26, p. 199-207, 1998.
- HOUGHTON, J. T.; JENKINS, G. J.; EPHRAUMS, J. J. (eds.). **Climate change. The IPCC Scientific Assessment**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 365p.
- HUTCHINSON, G. L.; MOSIER, A. R. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 45, p. 311-6, 1981.
- IAEA – International Atomic Energy Agency. **Manual on measurement of methane and nitrous oxide emissions from agriculture**. IAEA-TECDOC-674. Vienna: IAEA, 1992. 91p.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Chapter 10: Emissions from livestock and Manure Management. 2006.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change**. Scientific-Technical Analysis. Cambridge: University Press. 878p. 1996a.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 1994. Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios**. Cambridge: University Press, 1995. 339p.
- IPCC. **Revised IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual**. Bracknell: UNEP/IPCC. 1996b.
- JOHNSON, D. E.; JOHNSON, K. A.; WARD, G. M.; BRANINE, M. E. Ruminants and other animals. In: KHALIL (ed.). **Atmospheric methane: its role in the global environment**. Berlin: Springer-Verlag, p. 112-33, 2000.
- JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. **Journal of Animal Science**, v. 73, p. 2483-92, 1995.
- JUDD, M. J.; KELLIHER, F. M.; ULYATT, M. J.; LASSEY, K. R.; TATE, K. R.; SHELTON, I. D.; HARVEY, M. J.; WALKER, C. F. Net methane emissions from grazing sheep. **Global Change Biology**, v. 5, p. 647-57, 1999.
- KAISER, E. A.; HOHRS, K.; KUCKE, M.; SCHNUG, E.; HEINEMEYER, O.; MUNCH, J. C. Nitrous oxide release from arable soil: importance of N-fertilization, crops and temporal variation. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 30, p. 1553-63, 1998.
- KEENEY, D. R.; FILLERY, I. R.; MARX, G. P. Effect of temperature on the gaseous nitrogen products of denitrification in a silt loam soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, p. 1124-8, 1979.
- KURIHARA, M.; MAGNER, T.; HUNTER, R. A.; McGRABB, G. J. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. **British Journal of Nutrition**, v. 81, n. 3, p. 227-34, 1999.

- LASSEY, K. R. Livestock methane emission: from the individual grazing animal through national inventories to the global methane cycle. **Agricultural and Forest Meteorology**, 2005 (In press).
- LASSEY, K. R.; PINARES-PATIÑO, C. S.; ULYAT, M. J. Methane emission by grazing livestock: some findings on emission determinants. In: VAN HAM et al. (ed.). **Non-CO₂ greenhouse gases: scientific understanding, control options and policy aspects**. Millpress, Rotterdam, The Netherlands, p. 95-100, 2002.
- LASSEY, K. R.; ULYATT, M. J. Methane emission by grazing livestock: a synopsis of 1000 direct measurement. In: VAN HAM et al. (ed.). **Non-CO₂ greenhouse gases: scientific understanding, control and implementation**. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, p. 101-6, 2000.
- LASSEY, K. R.; ULYATT, M. J.; MARTIN, R. J.; WALKER, C. F.; SHELTON, I. D. Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. **Atmos. Environ.**, v. 31, p. 2905-14, 1997.
- LEUNING, R.; BAKER, S. K.; JAMIE, I. M.; HSU, C. H.; KLEIN, L.; DENMEAD, O. T.; GRIFFITH, D. W. T. Methane emission from free-ranging sheep: a comparison of two measurement methods. **Atmos. Environ.**, v. 33, p. 1357-65, 1999.
- LIMA, M. A.; BOEIRA, R. C.; CASTRO, V. L. S. S.; LIGO, M. A. V.; CABRAL, O. M. R.; VIEIRA, R. F. Estimativa das emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil. In: LIMA, M. A.; MIGUEZ, J. D. G.; CABRAL, O. M. R. (eds.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p. 169-89.
- MAAG, M.; VINTHER, F. P. Nitrous oxide emission by nitrification and denitrification in different soil types and at different soil moisture contents and temperatures. **Applied Soil Ecology**, v. 4, p. 5-14, 1996.
- McCAUGHEY, W. P.; WITTEMBERG, K.; CORRIGAN, D. Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. **Can. J. Anim. Sci.**, v. 79, p. 221-6.
- McCAUGHEY, W. P.; WITTEMBERG, K.; CORRIGAN, D. Methane production by steers on pasture. **Can. J. Anim. Sci.**, v. 77, p. 519-24, 1997.
- MCT – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatórios de Referência: Emissões de Metano pela Pecuária**. Brasília: MCT, 2006a.
- MCT – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatórios de Referência: Emissões de Óxido Nitroso provenientes de Solos Agrícolas**. Brasília: MCT, 2006b. 127p.
- MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT, J. K.; PALM, C. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. In: WASSMANN, R.; VLEK, P. L. G. (eds.). **Methane tropical agriculture in transition – opportunities for mitigating greenhouse gas emissions?** p. 11-49, 2004.
- MOSIER, A. R.; DUXBURY, J. M.; FRENEY, J. R.; HEINEMEYER, O.; MINAMI, K. Assessing and mitigating N₂O emissions from agricultural soils. **Climatic Change**, v. 40, p. 7-38, 1998.

- MOSIER, A. R.; SCHIMEL, D. S.; VALENTINE, D.; BRONSON, K.; PARTON, W. Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. *Nature*, v. 350, p. 330-2, 1991.
- NEILL, C.; STEUDLER, P. A.; GARCIA-MONTIEL, D. C.; MELILLO, J. M.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M.; CERRI, C. C. Rates and controls of nitrous oxide and nitric oxide emissions following conversion of forest to pasture in Rondônia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 71, p. 1-15, 2005.
- PATHAK, H. Emissions of nitrous oxide from soil. *Current Science*, v. 77, n. 3, p. 359-69, 1999.
- PAVAO-ZUCKERMAN, M. A.; WALLER, J. C.; INGLE, T.; FRIBOUG, H. A. Methane emissions of beef cattle grazing tall fescue pastures at three levels of endophyte infestation. *J. Environ. Qual.*, v. 28, p. 1963-9, 1999.
- 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)**. Jaboticabal, SP, 2004. 136p. Tese (Pós-Graduação em Zootecnia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias do Campus de Jaboticabal – Unesp.
- PETERSEN, S. O. Nitrous oxide emissions from manure and inorganic fertilizers applied to spring barley. *J. Environ. Qual.*, v. 28, p. 1610-8, 1999.
- PINARES-PATIÑO, C. S.; ULYATT, M. J.; LASSEY, K. R.; BARRY, T. N.; HOLMES, C. W. Persistence of differences between sheep in methane emission under generous grazing conditions. *J. Agric. Sci.*, v. 140, p. 227-33, 2003b.
- PINARES-PATIÑO, C. S.; BAUMONT, R.; MARTIN, C. Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity. *Can. J. Anim. Sci.*, v. 83, p. 769-77, 2003a.
- PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R. T. S.; PEDREIRA, M. S.; LIMA, M. A.; BERTCHIELLI, T. T.; BARBOSA, P. F. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 39, p. 277-83, 2004.
- REID, R. S.; THORNTON, P. K.; MCCRABB, G.; KRUSKA, R. L.; ATIENO, F.; JONES, P. G. Is it possible to mitigate greenhouse gas emissions in pastoral ecosystems of the tropics? In: WASSMANN, R.; VLEK, P. L. G. (eds.). **Methane tropical agriculture in transition – opportunities for mitigating greenhouse gas emissions?** p. 91-109, 2004.
- RITCHIE, G. A.; NICHOLAS, D. J. D. Identification of the sources of nitrous oxide produced by oxidative and reductive processes in *Nitrosomonas europaea*. *Biochem J.*, v. 126, p. 1181-91, 1972.
- RYDEN, J. C.; LUND, L. J.; FROCHT, D. D. Direct in-field measurements of nitrous oxide flux from soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, v. 42, p. 731-8, 1978.
- SMITH, K. A.; THOMPSON, P. E.; CLAYTON, H.; MCTAGGART, I. P.; CONNEN, F. Effects of temperature, water content and nitrogen fertilization on emissions of nitrous oxide by soils. *Atmospheric Environment*, v. 32, n. 19, p. 3301-9, 1998.
- SMITH, K. A.; CLAYTON, H.; MCTAGGART, I. P.; THOMPSON, P. E.; ARAH, J. R. M.; SCOTT, A. The measurement of nitrous oxide emissions from soil by using chambers. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A*, v. 351, p. 327-338, 1995.

- SRIVASTAVA, A. K.; GARG, M. R. Effect of feeding chaffed dry fodder on methane emission from adult ruminants. In: INTERNATIONAL METHANE & NITROUS OXIDE MITIGATION CONFERENCE, 3., 17-21/11/2003, Beijing, China. **Proceedings II...** Beijing: China Coal Information Institute, 2003. (CD-ROM). Session – Grassland and forage crops, p. 331-40, 2003.
- STEUDLER, P. A.; BOWDEN, R. D.; MELILLO, J. M.; ABER, J. D. Influence of nitrogen fertilization on methane uptake in temperate forest soils. **Nature**, v. 341, p. 314-6, 1989.
- U. S. EPA – U. S. Environmental Protection Agency. **Evaluating ruminant livestock efficiency projects and programs**. Washington: EPA, 2000.
- ULYATT, M. J.; LASSEY, K. R.; SHELTON, I. D.; WALKER, C. F. Seasonal variation in methane emission from dairy cows and breeding ewes grazing ryegrass/white clover pasture in New Zealand. **N. Z. J. Agric. Res.**, v. 45, p. 217-26, 2002a.
- ULYATT, M. J.; LASSEY, K. R.; SHELTON, I. D.; WALKER, C. F. Methane emission from dairy cows and whether sheep fed sub-tropical grass-dominant pastures in mid summer in New Zealand. **N. Z. J. Agric. Res.**, v. 45, p. 227-34, 2002b.
- UNFCCC. Key GHG Data. Bonn: UNFCCC. 2005.
- WAGNER-RIDDLE, C.; PARK, KYU-HYUN; THURTELL, G. W. A micrometeorological mass balance approach for greenhouse gas flux measurements from stored animal manure. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 136, p. 175-87, 2006.
- WESTBERG, H. H.; JOHNSON, K. A.; COSSALMAN, M. W.; MICHAL, J. J. **A SF₆ tracer technique: methane measurement from ruminants**. Pullman: Washington State University, 1998. 39p.
- WESTBERG, H.; LAMB, B.; JOHNSON, K. A.; HUYLEY, M. Inventory of methane emissions from U.S. cattle. **J. Geophys. Res.**, v. 106, p. 12.633-42, 2001.
- WILSON, J. D.; CATCHPOOLE, V. R.; DENMEAD, O. T.; THURTELL, G. W. Verification of a simple micrometeorological method for estimating the rate of gaseous mass transfer from the ground to the atmosphere. **Agricul. Meteorology**, v. 29, p. 183-9, 1983.
- WOODWARD, S. L.; WAGHORN, G. C.; ULLYATT, M. J.; LASSEY, K. R. Early indications that feeding Lotus will reduce methane emissions from ruminants. **Proc. N. Z. Soc. Animal Prod.**, v. 61, p. 23-6, 2001.