

BIODIGESTORES PARA A MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA PELA BOVINOCULTURA NA REGIÃO SUDESTE, BRASIL¹

Luiz Claudio Garcia Junior²

Marcel Viana Pires³

Dênis Antônio da Cunha⁴

Resumo: Estudos recentes vêm buscando relacionar os problemas das emissões de gases causadores de efeito estufa (GEEs) com a produção agropecuária. O presente trabalho buscou responder quanto a adoção de biodigestores na bovinocultura contribui para a mitigação dos GEEs e qual será o impacto econômico decorrente dessa adoção. Assim, objetivou-se quantificar a emissão dos principais GEEs relacionados à bovinocultura (CH₄ e N₂O) na região Sudeste do Brasil e verificar o potencial de mitigação dos GEEs pela adoção de biodigestores. Os resultados apontaram que a utilização do biodigestor como estratégia de tratamento de dejetos animais diminui a emissão de GEEs na atmosfera. A redução geral de emissão de GEEs é de 15.347.045,33 tCO₂eq/ano, o que equivale a aproximadamente 40% de redução em comparação à emissão total calculada, considerando a fermentação entérica. Demonstra-se, dessa forma, que, com a adoção do biodigestor, as propriedades poderão ter benefícios econômicos e socioambientais.

Palavras-chave: Bovinocultura, Biodigestor, Gases de Efeito Estufa, Mitigação.

1 Recebido em: 01/03/2016; Aceito em: 21/10/2016. Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processo 306647/2015-0), da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG (Processo: PPM 00022-2014) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES/PNPD.

2 Economista. Consultor de Negócios na Management Solutions. E-mail: luiz.claudio.garcia.jr@msbrazil.com

3 Doutor em Ciências Agrárias (Fisiologia Vegetal), Universidade Federal de Viçosa (UFV). Pesquisador do Grupo de Pesquisa "Economia dos Recursos Naturais e Ambientais" (UFV). E-mail: marcel.pires@ufv.br

4 Doutor em Economia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa. Professor Adjunto, Departamento de Economia Rural (UFV). E-mail: denis.cunha@ufv.br

Abstract: Recent works have been seeking to relate the greenhouse effect gases (GHGs) issues with agricultural and livestock production. This study attempted to answer how the adoption of biodigesters in cattle raising contributes to the mitigation of GHGs and what will be the economic impact of this adoption. Thus, our work aimed to quantify the emissions of the main GHGs related to cattle raising (CH_4 and N_2O) in Southeastern Brazil and to verify the GHG mitigation potential through the adoption of biodigesters. Our results showed that the use of biodigester as animal waste treatment strategy is likely to reduce the GHGs emission in the atmosphere. The overall reduction of GHG emissions is 15,347,045.33 $\text{tCO}_2\text{eq/year}$, which amounts to approximately 40% reduction compared to the estimated total emission considering the enteric fermentation. In this way, properties which adopted biodigesters may have economic, social and environmental benefits.

Keywords: Cattle, Biodigester, Greenhouse Effect Gases, Mitigation.

Classificação JEL: Q54

1. Introdução

Nos últimos anos, é crescente a preocupação com o aquecimento global. As atividades antrópicas estão cada vez mais acentuando as concentrações dos denominados gases de efeito estufa (GEEs)⁵. Nesse contexto, o setor agropecuário tem sido historicamente uma das principais fontes de emissão de GEEs para a atmosfera (BEDDINGTON et al., 2012; PIRES et al., 2015). Segundo o relatório mais recente do *Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC* (SMITH et al., 2014), os setores de agricultura, de floresta e outros usos da terra, denominados conjuntamente de AFOLU, são responsáveis por cerca de um quarto ($\sim 10\text{--}12 \text{ Gt CO}_2\text{eq ano}^{-1}$) do total de emissões antropogênicas de GEEs, principalmente o desmatamento e as atividades agropecuárias. De acordo com Rosenzweig e Tubiello (2007), um quarto do dióxido de carbono (CO_2) liberado anualmente na atmosfera ocorre pelo desmatamento, esgotamento do carbono orgânico no solo, uso de máquinas e fertilizantes; metade do metano (CH_4) liberado se dá via pecuária e cultivo do arroz; e três quartos

5 Segundo o Protocolo de Kioto, são passíveis de negociação as emissões dos gases dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF_6).

do óxido nitroso (N_2O) têm como responsáveis aplicações de fertilizantes e manejo de dejetos animais. No Brasil, as emissões de GEEs em 2010 atingiram valores próximos aos 1,2 bilhões de toneladas de CO_2eq , tendo a agropecuária contribuído com, aproximadamente, 437 milhões toneladas de CO_2eq , ou 35% do total (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI, 2013).

Entre os diversos setores econômicos inventariados, o grande desafio para a redução das emissões de GEEs no Brasil concentra-se no setor AFOLU, o qual representou 57% do total de emissões de CO_2eq em 2010 (MCTI, 2013). No tocante à pecuária, observa-se que a fermentação entérica nos ruminantes é uma das principais fontes de emissão de CH_4 no país, com 56,4% de participação na geração deste gás em 2010 (MCTI, 2013). Mais especificamente, a fermentação entérica do gado de corte constitui a principal fonte, responsável por 75% das emissões de CH_4 , seguida pela fermentação entérica do gado de leite (12%) (MCTI, 2013). Verifica-se, dessa forma, que, para a bovinocultura, os GEEs mais relevantes são CH_4 e N_2O , naturalmente produzidos pelo sistema digestivo dos animais, bem como pelo manejo dos seus dejetos. Com isso, estratégias que visem à redução das emissões desses GEEs na cadeia produtiva da bovinocultura devem ser incentivadas, frente aos desafios crescentes das alterações no clima e sua relação direta com a segurança alimentar.

Respostas políticas às mudanças do clima incluem a mitigação das emissões de GEEs e a adaptação aos potenciais impactos. De acordo com o IPCC (2007), embora o clima global venha sofrendo alterações naturais ao longo dos anos, o aumento nos níveis de GEEs emitidos por fontes antropogênicas afeta seu equilíbrio e sua dinâmica, recomendando, assim, medidas preventivas imediatas. A maioria das técnicas de mitigação atualmente utilizadas na agropecuária foi originalmente concebida como “estratégias ótimas” de gestão, destinadas a melhorar a estabilidade e a resiliência dos sistemas de cultivo/criação em longo prazo, em face da variabilidade do clima. Em última análise, o setor agropecuário está diante do desafio de contribuir com a redução global de CO_2 e de outros GEEs e, ao mesmo tempo, lidar com condições climáticas que já estão

continuamente mudando e que podem comprometer seu desempenho (ROSENZWEIG; TUBIELLO, 2007). Essa questão se torna ainda mais complexa em países em desenvolvimento como o Brasil, cujo setor agropecuário é responsável por parcela expressiva da geração de renda e emprego.

Dessa forma, buscando incentivar a mitigação das emissões de GEEs, uma das formas adotadas pelo governo brasileiro foi a criação do *Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – Plano ABC* (BRASIL, 2011). O objetivo principal deste plano é promover a mitigação das emissões de GEEs na agricultura brasileira e, ao mesmo tempo, empreender estratégias adaptativas aos potenciais impactos negativos das mudanças climáticas. O período compreendido pelo plano é de 2011 a 2020, destinado unicamente ao setor agropecuário. Tal plano é constituído por sete programas, um deles especificamente voltado para o Tratamento de Dejetos Animais, o qual almeja a ampliação do uso de tecnologias para tratamento de dejetos animais em 4,4 milhões de m³ até 2020 (BRASIL, 2011).

Neste contexto, a utilização de biodigestores, ou seja, estruturas projetadas e construídas para degradar a biomassa residual oriunda da produção animal, sem que ela tenha qualquer contato com o ar, pode fazer com que as propriedades agrícolas mitiguem os gases emitidos na atmosfera, gerando biogás, que pode ser utilizado como energia elétrica na propriedade ou mesmo no aproveitamento de créditos de carbono. Essa problemática é especialmente importante na região Sudeste do Brasil, que concentra 18% do efetivo da produção pecuária nacional e responde por 34% da produção brasileira de leite, de acordo com dados da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) 2015 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2015). Embora fique atrás das regiões Centro-Oeste e Norte em número de cabeças e empatado com o Sul em produção de leite, o Sudeste configura-se como o segundo maior emissor de GEEs no país resultantes da atividade pecuária. Segundo o mais recente relatório “Estimativas anuais de emissões de gases de efeito

estufa” do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI, 2014), o Sudeste responde por 19% das emissões de CH_4 e por 23% das emissões de N_2O oriundas da agropecuária nacional, configurando-se uma região de extrema importância para o desenvolvimento de estudos relacionados à mitigação desse problema.

Estudos recentes vêm buscando relacionar os problemas das emissões de GEEs com a produção agropecuária (CEDEBERG et al., 2009; BUSTAMANTE et al., 2012; LÉIS et al., 2015; RUVIARO et al., 2015; 2016), não havendo estudos específicos para a região Sudeste quanto à mitigação dos gases na bovinocultura. Dessa forma, observou-se a oportunidade de desenvolver um estudo analisando a quantidade de gases emitidos pela bovinocultura e, conseqüentemente, o quanto poderá ser mitigado, desde que técnicas alternativas sejam adotadas, tais como a instalação de biodigestores nas propriedades, gerando créditos de carbono, energia elétrica, entre outras fontes de energia sustentáveis.

Dessa forma, o presente trabalho buscou responder à seguinte questão: quanto a adoção de biodigestores na bovinocultura (leite e corte) contribui para a mitigação dos GEEs e qual será o impacto econômico decorrente dessa adoção? Assim, o objetivo principal do presente trabalho é analisar a quantidade de GEEs emitidos pela bovinocultura na região Sudeste do Brasil e avaliar a adoção de biodigestores como estratégia de mitigação. Especificamente, objetivou-se quantificar as emissões de metano e de óxido nitroso por fermentação entérica e manejo de dejetos animais na região Sudeste do Brasil e verificar o potencial de mitigação dos GEEs pela adoção de biodigestores.

2. Metodologia

2.1. Cálculo de emissões de gases de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) por fermentação entérica e manejo de dejetos animais

O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC (DONG et al., 2006) desenvolveu uma metodologia para o cálculo das emissões de GEEs, buscando suprir a necessidade da consideração de determinadas características que influenciam diretamente na quantidade de GEEs produzida. Para a utilização da metodologia do IPCC (DONG et al., 2006), foram feitas algumas alterações, conforme sugerido por Diaz (2006) e Prati (2010).

No presente estudo, foram considerados os dois principais gases relacionados ao setor agropecuário (CH_4 e N_2O)⁶ para quantificar as emissões de GEEs. Foram calculadas, então, a emissão oriunda da bovinocultura de cada um desses gases para a região Sudeste e, em seguida, a redução aparente de emissões de GEEs, caso seja adotada a utilização de um biodigestor na propriedade.

2.1.1. Cálculo de emissões de metano (CH_4)

As emissões de CH_4 podem ocorrer de duas formas: fermentação entérica (etapas *a-h*) e manejo dos dejetos (etapa *i*). A fermentação entérica é um processo natural do sistema digestivo dos ruminantes que ocorre no rúmen do animal. Para quantificar essas emissões, é necessário caracterizar uma série de parâmetros tais como a composição do rebanho (tipo e número de cabeças de gado), a dieta alimentar, o tipo de criação e o percentual de vacas prenhes por ano (DONG et al., 2006).

6 A justificativa para a não consideração do CO_2 é que sua emissão está associada, principalmente, à queima de combustíveis fósseis e ao desmatamento, em que a vegetação libera o CO_2 que fora previamente armazenado como parte do processo de fotossíntese. Em relação à produção animal, as emissões de CO_2 são consideradas indiretas, pois estão relacionadas às emissões oriundas da substituição da vegetação natural para o estabelecimento de pastagens, bem como àquelas oriundas do fogo para abertura de novas áreas de pasto. De acordo com o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI, 2014), emissões de CO_2 estão relacionadas ao setor “Mudança do Uso da Terra e Florestas”, não diretamente ao setor “Agropecuário”, foco da presente pesquisa.

Definidos os parâmetros, o fator de emissão de CH_4 por fermentação entérica ($FE_{\text{CH}_4,fe}$) e a conseqüente taxa de emissão ($ET_{\text{CH}_4,fe}$) são calculados seguindo as etapas abaixo (DONG et al., 2006):

a) *Metabolismo*: esta etapa calcula a energia líquida necessária para a manutenção do animal, ou seja, é a quantidade de energia necessária para manter o animal em equilíbrio (JURGEN, 1988).

$$EN_m = 0,335 \cdot (m_{\text{vacca}})^{0,75} \quad (1)$$

em que EN_m representa a energia líquida necessária para a manutenção do animal (MJ dia^{-1}) e m_{vacca} representa o peso das vacas em kg. E,

$$EN_m = 0,322 \cdot (m_{\text{animal}})^{0,75} \quad (2)$$

em que m_{animal} representa o peso de bois e bezerros em kg.

a) *Crescimento*: essa fase é aplicada somente aos bezerros, uma vez que vacas e bois já passaram dessa etapa, e representa a energia líquida necessária para o crescimento (NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC, 1996).

$$EN_{cr} = 4,18 \cdot \left[\left(0,035 \cdot (m_{\text{animal}})^{0,75} \cdot (m_g)^{1,119} \right) + m_g \right] \quad (3)$$

em que EN_{cr} representa a energia líquida necessária para o crescimento (MJ dia^{-1}), m_{animal} é a média de peso corporal dos animais na população e m_g é o ganho de peso médio diário dos animais na população (kg dia^{-1}).

a) *Lactação*: essa fase é aplicada somente às vacas e representa a energia líquida necessária para a lactação. É expressa como função da quantidade de leite produzido e o seu teor de gordura expresso em percentagem (NRC, 1989).

$$EN_l = m_{leite} \cdot [1,47 + (0,4 \cdot TG_{leite})] \quad (4)$$

em que EN_l representa a energia líquida necessária para a lactação (MJ dia⁻¹), m_{leite} é a produção diária de leite (kg dia⁻¹) e TG_{leite} é o teor de gordura do leite (% em peso).

d) *Prenhez*: essa fase é aplicada somente às vacas e representa a necessidade de energia total para a prenhez por um período de gestação de 281 dias em média por um ano inteiro (NRC, 1996).

$$EN_{pr} = 0,075 \cdot EN_m \quad (5)$$

em que EN_{pr} representa a energia líquida necessária para a prenhez (MJ dia⁻¹) e EN_m representa a energia líquida necessária para a manutenção do animal (MJ dia⁻¹).

e) *Atividade*: esta etapa calcula a energia necessária para os animais para obter seu alimento, água e abrigo. Baseia-se primariamente na sua situação de alimentação (tipo de criação), em vez de características da própria alimentação (NRC, 1996).

$$EN_{at} = F_A \cdot EN_m \quad (6)$$

em que EN_{at} representa a energia líquida necessária para a atividade animal (MJ dia⁻¹), F_A é um coeficiente determinado pelo tipo de criação do animal, sendo igual a 0,17 para pastoreio (21,1% da amostra) e a 0,37 para pastoreio extensivo (78,9%), e EN_m representa a energia líquida necessária para a manutenção do animal (MJ dia⁻¹).

f) *Energia Bruta*: a demanda de energia bruta é derivada com base nas exigências de energia líquida somadas e nas características de disponibilidade de energia do alimento.

$$EB = \frac{(EN_m + EN_l + EN_{pr} + EN_{at}) \cdot (100/ED)}{(EN/ED) + \left[\frac{EN_{cr}}{(EN_{cr}/ED)} \right]} \quad (7)$$

em que EB é a energia bruta (MJ dia^{-1}), EN_m representa a energia líquida necessária para a manutenção do animal, calculada pelas equações 1 e 2 (MJ dia^{-1}), EN_{cr} representa a energia líquida necessária para o crescimento, calculada pela equação 3 (MJ dia^{-1}), EN_l representa a energia líquida necessária para a lactação, calculada pela equação 4 (MJ dia^{-1}), EN_p representa a energia líquida necessária para a prenhez, calculada pela equação 5 (MJ dia^{-1}), EN_{at} representa a energia líquida necessária para a atividade animal, calculada pela equação 6 (MJ dia^{-1}), e ED é a energia digestível, expressa em percentagem da energia bruta.

Considerando uma digestibilidade menor ou igual a 65%, os termos no denominador podem ser determinados por:

$$EN/ED = 0,298 \cdot (0,0035 \cdot ED) \quad (8)$$

$$EN_{cr}/ED = -0,036 \cdot (0,00535 \cdot ED) \quad (9)$$

g) *Fator de emissão de CH_4* : o fator de emissão de CH_4 por fermentação entérica ($\text{kg CH}_4 \text{ animal}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) deve ser desenvolvido seguindo a Equação 10 abaixo descrita. Esta equação assume que os fatores de emissão estejam sendo desenvolvidos para uma categoria de animal para um ano inteiro (365 dias).

$$FE_{\text{CH}_4, \text{fe}} = \frac{365 \cdot EB \cdot TCM}{55,65} \quad (10)$$

em que $FE_{CH_4,fe}$ é o fator de emissão de CH_4 por fermentação entérica ($kg\ CH_4\ animal^{-1}\ ano^{-1}$), EB é a energia bruta ($MJ\ animal^{-1}\ dia^{-1}$), TCM é a taxa de conversão de CH_4 , em percentagem de energia bruta de alimentos convertidos em metano, que varia entre 4% e 6% [para o presente estudo, considerou-se o valor de 6%, segundo Dong et al. (2006)], e o denominador 55,65 representa o conteúdo energético do gás metano, em $MJ/kg\ CH_4$.

h) Emissão de CH_4 por fermentação entérica: determinado o fator de emissão, tem-se que a emissão total de CH_4 decorrente da fermentação entérica é dada por:

$$ET_{CH_4,fe} = (FE_{CH_4,fe} \cdot n) \cdot \frac{GWP_{CH_4}}{1000} \quad (11)$$

em que $ET_{CH_4,fe}$ representa a emissão total de CH_4 decorrente da fermentação entérica (tCO_2eq/ano), $FE_{CH_4,fe}$ é o fator de emissão de CH_4 por fermentação entérica, calculado pela equação 10 ($kg\ CH_4\ animal^{-1}\ ano^{-1}$), n é o número de cabeças de gado considerado na análise e GWP_{CH_4} é o potencial de aquecimento global do CH_4 em relação ao CO_2 , que é igual a 21, ou seja, o potencial de aquecimento do CH_4 é 21 vezes maior que o do CO_2 .

i) Emissão de CH_4 por manejo dos dejetos animais: para calcular a quantidade de CH_4 emitida pelo sistema de gerenciamento de esterco (SGEA), é necessário definir os valores de alguns fatores. O primeiro fator é a capacidade potencial de produção de CH_4 oriundo do esterco produzido (BO), que depende da região do planeta em que a propriedade está localizada. No caso do presente estudo, a região Sudeste do Brasil está localizada na América Latina, assim o valor de BO é igual a $0,13\ m^3\ CH_4\ kg^{-1}$ de sólidos voláteis excretados por vacas leiteiras e a $0,10\ m^3\ CH_4\ kg^{-1}$ de sólidos voláteis excretados por outros bovinos (DONG et al., 2006).

Adicionalmente, é preciso calcular a quantidade de sólidos voláteis presente no esterco (SV). Os sólidos voláteis correspondem à parte do esterco representada pela matéria orgânica biodegradável e não biodegradável. Essa quantidade depende de alguns fatores, tais como energia bruta ingerida pelo animal e do teor de cinza no esterco. O valor de SV é determinado por:

$$SV = EB \cdot \frac{1 \text{ kg}_{ms}}{18,45 \text{ MJ}} \cdot \left(1 - \frac{ED}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{C_{Cl}}{100}\right) \quad (12)$$

em que SV é a excreção de sólidos voláteis por dia em uma base de matéria orgânica seca (kg SV dia^{-1}), EB é a energia bruta (MJ dia^{-1}), ED é a energia digestível, expressa em percentagem da energia bruta, a qual, como anteriormente definida, equivale a 65%, e C_{Cl} é o teor de cinza no esterco, calculado como uma fração da ingestão de alimentos em matéria seca, igual a 8% para o gado (DONG et al., 2006).

Assim, o fator de emissão de CH_4 para o SGEA é dado por:

$$FE_{\text{CH}_4, \text{SGEA}} = 365 \cdot \left[BO \cdot SV \cdot \left(\frac{FCM}{100} \right) \right] \cdot \rho_{\text{CH}_4} \quad (13)$$

em que $FE_{\text{CH}_4, \text{SGEA}}$ é o fator de emissão de CH_4 por manejo dos dejetos ($\text{kg CH}_4 \text{ animal}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), BO é a capacidade potencial de produção de CH_4 oriundo do esterco produzido ($\text{m}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ SV}$), SV é a excreção de sólidos voláteis por dia em uma base de matéria orgânica seca, calculada pela equação 12 ($\text{kg massa seca animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), FCM é o fator de conversão de CH_4 , que varia conforme o tipo de SGEA utilizado e o clima da região, Tabela 1, e ρ_{CH_4} representa a massa específica do CH_4 (kg m^{-3}).

Tabela 1 – Fator de conversão de CH₄ dos diferentes sistemas de gerenciamento de esterco

Sistema de gerenciamento de esterco (SGEA)	Fator de conversão de CH ₄
Anaeróbica	90%
Pasto	1,5%
Armazenado	0,5%
Biodigestor	5%

Fonte: Adaptado de Dong et al. (2006).

Após calcular o fator de emissão de CH₄, calculou-se a emissão total de CH₄ por manejo dos dejetos animais, que é dada por:

$$ET_{CH_4,SGEA} = \left(FE_{CH_4,SGEA} \cdot n \right) \cdot \frac{GWP_{CH_4}}{1000} \quad (14)$$

em que $ET_{CH_4,SGEA}$ representa a emissão total de CH₄ decorrente do manejo dos dejetos animais (tCO₂eq/ano), $FE_{CH_4,SGEA}$ é o fator de emissão de CH₄ pelo manejo dos dejetos animais, calculado pela equação 13 (kg CH₄ animal⁻¹ ano⁻¹), n é o número de cabeças de gado considerado na análise e GWP_{CH_4} é o potencial de aquecimento global do CH₄ em relação ao CO₂, que é igual a 21, ou seja, o potencial de aquecimento do CH₄ é 21 vezes maior que o do CO₂ (DONG et al., 2006).

2.1.2. Cálculo de emissões de óxido nitroso (N₂O) dos sistemas de gerenciamento de esterco

As emissões de N₂O dependem da quantidade de nitrogênio ingerida nos alimentos. A absorção de nitrogênio em alguns produtos como o leite e a carne está situada entre 5% e 20% do total de nitrogênio ingerido, sendo o restante excretado na urina e nos dejetos fecais, que irão para

os sistemas de gerenciamento de esterco – SGEA (DONG et al., 2006; DIAZ, 2006).

As emissões de N_2O compreendem as emissões diretas, próprias do SGEA utilizado e da volatilização do nitrogênio e outros, bem como as emissões indiretas, decorrentes das matérias dispostas no campo. Assim, verifica-se que as primeiras são mais significativas e de interesse à etapa do gerenciamento de esterco. Para o seu cálculo, tem-se que:

$$ET_{N2O} = (FE_{N2O} \cdot n) \cdot \frac{GWP_{N2O}}{1000} \quad (15)$$

em que ET_{N2O} representa a emissão total de N_2O (ton CO_2 eq/ano), FE_{N2O} é o fator de emissão para emissões diretas de N_2O oriundas de sistemas de gerenciamento de esterco (kg N_2O -N/kg N), n é o número de cabeças de gado considerado na análise e GWP_{N2O} é o potencial de aquecimento global do N_2O em relação ao CO_2 , que é igual a 310, ou seja, o potencial de aquecimento do N_2O é 310 vezes maior que o do CO_2 (DONG et al., 2006).

O fator de emissão FE_{N2O} , por sua vez, é dado por:

$$FE_{N2O} = N_{ex} \cdot FE_{SGEA} \cdot C_m \quad (16)$$

em que FE_{N2O} é o fator de emissão para emissões diretas de N_2O oriundas de sistemas de gerenciamento de esterco (kg N_2O -N/kg N), N_{ex} é, de acordo com a Tabela 2, a excreção média de nitrogênio anual por cabeça de gado (kg N animal⁻¹ ano⁻¹), FE_{SGEA} é o fator de emissão de N_2O em função do tipo de SGEA, Tabela 2, e C_m é o fator de conversão de N_2O -N para N_2O (44/28).

Tabela 2 – Fator de emissão de N_2O em função do tipo de sistema de gerenciamento de esterco (FE_{SGEA} , em kg N_2O -N/kg N) e valores de excreção média de nitrogênio anual por cabeça de gado (N_{ex} , em kg N animal⁻¹ ano⁻¹)

Fator de emissão de N_2O em função do tipo de SGEA – FE_{SGEA}	
Anaeróbica	0,002
Pasto	0,02
Armazenado	0,02
Excreção do nitrogênio – N_{ex}	
Vacas leiteiras	70
Outros bovinos	40

Fonte: Adaptado de Dong et al. (2006).

2.1.3. Cálculo da redução de emissões de GEEs

A redução das emissões de GEEs (CH_4 e N_2O) é dada pela diferença entre as configurações alternativas de gerenciamento do esterco, denominadas de configurações de referência (CR). No presente estudo, foram utilizadas três diferentes CRs, a saber: lagoa anaeróbica, pasto e esterco armazenado. Já a configuração do projeto (CPR) é representada pela utilização de biodigestor. Para calcular tais emissões causadas pelo biodigestor, foram utilizadas as mesmas equações descritas acima para o CH_4 . Já para o N_2O , a emissão oriunda dos biodigestores, segundo o IPCC (1996), é nula. Assim, tem-se que a redução das emissões de GEEs é dada por:

$$REm = ET_{CR} - ET_{CPR} \quad (17)$$

em que REm representa a emissão evitada com a utilização do biodigestor (tCO_2eq/ano), ET_{CR} é a emissão total oriunda das configurações alternativas de gerenciamento do esterco (tCO_2eq/ano) e ET_{CPR} é a emissão total oriunda da utilização de biodigestor (tCO_2eq/ano).

2.2. Fonte de dados

Os dados utilizados no presente trabalho referem-se à produção de gado na região Sudeste, disponíveis no último Censo Agropecuário (IBGE, 2006). Para maior precisão nos dados referentes às vacas leiteiras da região, foram utilizados dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e Pesquisa Pecuária Municipal (IBGE, 2012).

Para os cálculos das emissões de CH_4 e N_2O , foram utilizados valores de referência do *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – IPCC* (DONG et al., 2006), que fornece valores predeterminados para a localização das propriedades. Dessa forma, foram utilizados tais dados para os cálculos das emissões tanto da fermentação entérica, quanto dos SGEAs adotados, no caso lagoa anaeróbica, pasto e armazenamento de esterco.

3. Resultados e discussão

Os dados disponibilizados pelo Censo Agropecuário, Embrapa e Produção da Pecuária Municipal permitiram a construção do efetivo do rebanho bovino da região Sudeste, subdividindo-o em vacas de leite, vacas de corte/trabalho, bois de corte/trabalho e bezerros com até dois anos de idade. Entretanto, os dados forneciam apenas dois tipos de informações: o efetivo total da região e o efetivo total com separação de animais apenas em propriedades com mais de 50 cabeças. Dessa

forma, foi calculada uma média entre a diferença dos efetivos totais e os efetivos em propriedades acima de 50 cabeças, que estavam subdivididas por tipo de animal, para definir quantas vacas leiteiras, vacas, bois e bezerros estavam presentes, aproximadamente, no efetivo total. A Tabela 3 apresenta o efetivo subdividido por tipo de animal, segundo dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2006), e a média calculada.

Tabela 3 – Composição do efetivo bovino da região Sudeste com separação por tipo de animal

Estado	Vacas (leite)	Vacas (corte)	Bois (corte/trabalho)	Bezerros	Total
MG	4.805.390	1.287.435	3.613.882	10.204.486	19.911.193
ES	388.477	159.722	325.158	918.144	1.791.501
RJ	395.102	193.708	349.246	986.161	1.924.217
SP	1.597.701	1.594.803	1.893.594	5.346.923	10.433.021
Total	7.186.670	3.235.669	6.181.880	17.455.715	34.059.932

Fonte: IBGE (2006), com dados trabalhados pelo autor.

A Tabela 4 apresenta os resultados encontrados para as emissões de GEEs equivalentes para cada tipo de animal e em cada sistema de gerenciamento de esterco (SGEA) utilizado. De acordo com o *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – IPCC* (DONG et al., 2006), as unidades de medidas das emissões são dadas em tCO₂eq/ano. Ademais, a Tabela 4 apresenta o potencial de redução de emissões de GEEs ao adotar o biodigestor como estratégia de tratamento de dejetos animais.

Os resultados obtidos evidenciam que a emissão de GEEs na bovinocultura da região Sudeste é muito alta, situando-se na casa de 17 milhões de tCO₂eq/ano (Tabela 4). Considerando a fermentação entérica, a emissão atinge aproximadamente 39 milhões tCO₂eq/ano, Tabela 4, valor extremamente elevado e que muito contribui com as questões do

aquecimento global. De acordo com Bustamante et al. (2012), a maior parte das emissões oriundas da bovinocultura no Brasil pode ser atribuída ao CH_4 entérico em detrimento do N_2O , uma vez que os resíduos são, geralmente, dispersos em uma extensa gama de terra.

Conforme pode ser observado na Tabela 4, a bovinocultura da região Sudeste é responsável pela emissão de 2.599.240,79 tCO₂eq/ano oriunda do gás CH_4 . Desse total, 365.588,40 tCO₂eq/ano (14%) são emitidas pelo esterco que fica retido no pasto; 212.540,91 tCO₂eq/ano (8%) são emitidas pelo esterco armazenado para uso posterior; e 2.021.111,47 tCO₂eq/ano (78%) são emitidas pelo manejo do esterco em lagoas anaeróbicas (Tabela 4). Destaca-se, segundo estes resultados, a ineficiência da utilização de lagoas anaeróbicas como alternativa ao tratamento de águas residuais provenientes da produção animal. Pelo fato de serem, em sua maioria, reatores anaeróbios abertos, tais lagoas lançam diretamente na atmosfera os subprodutos de sua digestão, o que contribui para o aumento dos níveis de GEEs, sendo assim uma importante fonte de poluição atmosférica (BOHRZ, 2010).

Tabela 4 – Valores obtidos para a emissão de GEEs (tCO₂eq/ano) e o potencial de redução de emissão ao adotar o biodigestor como estratégia de mitigação

Parâmetro	Vaca (leite)	Vaca (corte/ trabalho)	Bois (corte/ trabalho)	Bezerros	Total
N de animais	7.186.670	3.235.669,19	6.181.879,53	17.455.715,15	34.059.933,87
FE Ferm. Entérica	67,40	50,94	55,65	1,52	175,51
ET Ferm. Entérica	10.172.366,99	3.461.535,78	7.224.197,99	555.462,83	21.413.563,58
FECH ₄ L. Anaer.	5,24	3,96	4,32	0,12	13,64
ETCH ₄ L. Anaer.	790.437,79	268.976,60	946.411,44	15.285,64	2.021.111,47
FEN ₂ O L. Anaer.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03
ETN ₂ O L. Anaer.	24.506,54	6.304,93	12.045,83	34.013,71	76.871,02
FECH ₄ Pasto	1,31	0,76	0,83	0,02	2,92
ETCH ₄ Pasto	197.609,45	51.726,27	107.952,32	8.300,37	365.588,40
FEN ₂ O Pasto	1,65	0,94	0,94	0,94	4,48
ETN ₂ O Pasto	3.675.981,71	945.739,88	1.806.875,07	5.102.056,17	11.530.652,83
FECH ₄ Armazenado	1,31	0,07	0,07	0,00	1,45
ETCH ₄ Armazenado	197.609,45	4.597,89	9.595,76	737,81	212.540,91
FEN ₂ O Armazenado	0,44	0,25	0,25	0,25	1,19
ETN ₂ O Armazenado	980.261,79	252.197,30	481.833,35	1.360.548,31	3.074.840,75
Emissão Total CH ₄	1.185.656,69	325.300,76	1.063.959,52	24.323,82	2.599.240,79
Emissão Total N ₂ O	4.680.750,04	1.204.242,12	2.300.754,26	6.496.618,19	14.682.364,60
ET (Sist. Atual)	5.866.406,73	1.529.542,88	3.364.713,78	6.520.942,01	17.281.605,39
ET c/ Ferm. Entérica	16.038.773,72	4.991.078,65	10.588.911,77	7.076.404,83	38.695.168,98
FE Biodigestor	5,82	4,40	4,80	0,13	15,15
ET Biodigestor	939.799,79	304.155,37	642.346,45	48.258,45	1.934.560,06
Emissão Evitada	4.926.606,93	1.225.387,50	2.722.367,33	6.472.683,56	15.347.045,33

Nota: N - número de animais do efetivo bovino; FE - Fator de Emissão; ET - Emissão Total; FECH₄ - Fator de Emissão Metano; ETCH₄ - Emissão Total Metano; FEN₂O - Fator de Emissão Óxido Nitroso; ETN₂O - Emissão Total Óxido Nitroso.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Já em relação às emissões de N_2O , Tabela 4, observou-se que as lagoas anaeróbicas emitem 76.871,02 tCO_2eq/ano ou apenas 1% das emissões totais de N_2O ; já o esterco armazenado para uso posterior emite 3.074.840,75 tCO_2eq/ano (21%), enquanto o esterco que fica no pasto emite 11.530.652,83 tCO_2eq/ano (78%). Sabe-se, atualmente, que as excretas (urina e fezes) depositadas pelos animais em pastejo constituem importante fonte de emissão de N_2O (SORDI et al., 2011), pois formam “manchas” no solo com alta concentração de nitrogênio e carbono prontamente disponíveis à comunidade microbiana envolvida na produção de N_2O (OENEMA et al., 2005). Por outro lado, outras importantes fontes de GEEs provenientes do uso da terra para a criação de gado não foram quantificadas neste estudo. Nestas fontes, estão incluídas as emissões associadas ao uso de insumos (fertilizantes nitrogenados), energia e transporte. No entanto, como quase todos os sistemas de produção pecuária brasileiros são considerados de “baixa entrada”, os níveis de emissões associados a esses insumos são muito baixos (BUSTAMANTE et al. 2012).

Quando são analisadas as emissões de GEEs pelos diferentes tipos de animais, observa-se que os bezerros e as vacas leiteiras são os que mais contribuem para as emissões (Tabela 4). Tal resultado pode parecer, à primeira vista, óbvio, visto que pode ser explicado pela quantidade disponível de cada animal. Entretanto, o número de animais não é o único fator que explica este resultado. Durante o estágio de crescimento dos bezerros, os animais precisam de mais alimentos e, conseqüentemente, consomem mais energia. Assim, nessa fase, os bezerros tendem a emitir quantidade consideravelmente maior de GEEs. Esse é o mesmo caso das vacas leiteiras, que, durante o período de lactação, têm grande ingestão de matéria seca digestível e, dessa forma, liberam mais CH_4 (PRIMAVESI, 2004).

Conforme indicado na Tabela 4, a utilização do biodigestor como estratégia de tratamento de dejetos animais diminui a emissão de GEEs na atmosfera. A redução geral de emissão de GEEs é de 15.347.045,33 tCO_2eq/ano , o que equivale a, aproximadamente, 40% de redução em

comparação à emissão total calculada, considerando a fermentação entérica (Tabela 4).

Biodigestores são estruturas projetadas e construídas para promover a degradação da biomassa residual, sem que ela tenha qualquer contato com o ar. Isso faz com que determinadas bactérias tenham condições de consumir essa biomassa e predominem no meio, acelerando a degradação da matéria (JÚNIOR et al., 2009). O fato de o Brasil estar localizado em uma região de clima tropical favorece os ciclos biológicos que promovem a degradação anaeróbia. As altas temperaturas praticamente durante todo o ano e a grande biodiversidade fazem com que os microrganismos que nutrem os detritos atuem continuamente (JÚNIOR et al., 2009).

Entretanto, essa redução da emissão de GEEs tem um custo: a construção e a manutenção de um biodigestor na propriedade rural. Porém, esse custo pode ser amortizado, pois o biodigestor irá gerar biogás, bem como biofertilizantes como resíduos. Os biodigestores, quando bem utilizados, têm capacidade de gerar entre 50% e 70% de biogás do volume de esterco utilizado. Dessa forma, animais criados soltos no pasto, a forma de criação mais utilizada no Brasil, terão menor capacidade de produção em relação ao gado confinado.

Com a geração de biogás, a propriedade poderá ter energia elétrica para uso e, ou venda, e ainda terá a opção de se engajar num programa de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo), com a consequente venda de créditos de carbono. Dessa forma, a propriedade poderá ter um equipamento que, além de auxiliar na redução das emissões de GEEs, contribuindo para a produção sustentável, tem potencial de gerar novas fontes de receita. Além disso, a propriedade poderá ser beneficiada no mercado como uma produtora de bens sustentáveis, com preocupação com o meio ambiente, consequentemente, agregando valor a seus produtos.

É importante ressaltar também que, pelo sistema de biodigestores, os dejetos produzidos nas propriedades são transformados em biogás, além de aproveitar os resíduos como fertilizantes naturais. O CH_4 , participante

da composição do biogás, pode chegar a ter um poder calorífico de 12.000 kcal por m³, uma vez eliminando todo o gás carbônico da mistura, produzindo, assim, energia barata e aproveitando os resíduos animais, evitando que sejam despejados no ambiente e emitam GEEs na atmosfera (BARRERA, 2003). Ademais, a potencialidade de um biogás pode chegar a 72% do poder calorífico do gás natural (SALOMON, 2007; VELOSO E SILVA, 2009). Quando os microrganismos têm sucesso no processo, o biogás é constituído por 50% a 85% do volume total de CH₄, enquanto o restante consiste, em sua grande parte, de gás carbônico e pequenas quantidades de outros gases, tais como gás hidrogênio (H₂), nitrogênio (N₂) e sulfeto de hidrogênio (H₂S) (CHYNOWETH et al., 2001).

Por fim, pode-se afirmar que a adoção do biodigestor permite aos produtores ter benefícios econômicos e socioambientais. Econômicos, pois obterão novas fontes de receitas pela geração de energia elétrica e, ou geração dos créditos de carbono. Socioambientais, já que contribuirão para mitigar as emissões de GEEs, contribuindo assim para o controle do aquecimento global e para a redução dos efeitos negativos das mudanças climáticas, minimizando as externalidades negativas ocasionadas pela atividade animal.

4. Conclusões

A bovinocultura é responsável por grande parte das emissões de GEEs, sendo necessária a adoção de medidas que venham a mitigar essas emissões. Entre as principais estratégias, destaca-se a construção de biodigestores para o tratamento adequado dos dejetos gerados nas propriedades, que, além de evitarem a emissão de GEEs, podem ser uma fonte de renda adicional para as propriedades. Os resultados encontrados corroboram as expectativas de que a emissão de GEEs na região Sudeste é realmente elevada. Porém, a adoção de biodigestores mostra que essa emissão pode vir a ser reduzida.

Entretanto, é necessária a ajuda governamental para que essas ações sejam colocadas em prática, sem muitos riscos para os proprietários. Atualmente, o governo federal conta com o Plano ABC, que tem por objetivo fomentar uma produção agropecuária mais sustentável. Há créditos disponíveis tanto pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) quanto pelo Banco do Brasil para a construção de biodigestores e outros meios que venham a mitigar a emissão de GEEs. Porém, apenas o apoio financeiro não é suficiente, uma vez que os proprietários necessitam de maior conhecimento técnico em relação às ferramentas disponíveis, bem como assistência por parte das instituições destinadas a tal finalidade.

Por fim, ressalta-se a necessidade de estudos econômicos que busquem encontrar soluções e mensurar os custos e, ou benefícios da decisão de implantar os biodigestores. Ressalta-se, dessa forma, que estudos futuros devem detalhar, por meio de análises de medidas tradicionais de avaliação de projetos [por exemplo, *payback*, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e análise de sensibilidade)], a viabilidade econômico- financeira da implantação de um sistema de biodigestores no processo produtivo da bovinocultura.

Referências

BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. São Paulo: Ícone, 2003. 106 p.

BEDDINGTON, J.R.; ASADUZZAMAN, M.; CLARK, M.E.; FERNÁNDEZ BREMAUNTZ, A; GUILLOU, M.D.; HOWLETT, D.J.B; JAHN, M.M.; LIN, E.; MAMO, T.; NEGRA, C.; NOBRE, A.; SCHOLE, R.J.; VAN BO, N.; WAKHUNGU, J. What Next for Agriculture After Durban? **Science**, v. 335, p. 289-290, 2012.

BOHRZ, G.I. **Geração de metano em lagoa anaeróbia: um estudo de caso em abatedouro de bovinos**. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

BRASIL. Casa Civil da Presidência da República; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA); Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura. Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC)**. Versão Preliminar, Brasília, maio de 2011.

BUSTAMANTE, M.M.C.; NOBRE, C.A.; SMERALDI, R.; AGUIAR, A.P.D.; BARIONI, L.G.; FERREIRA, L.G.; LONGO, K.; MAY, P.; PINTO, A.S.; OMETTO, J.P.H.B. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. **Climatic Change**, v. 115, p. 559-577, 2012.

CEDERBERG, C.; MEYER, D.; FLYSJÖ, A. **Life cycle inventory of greenhouse gas emissions and use of land and energy in Brazilian beef production**. Swedish Institute for Food and Biotechnology, 2009. Disponível em: <<http://www.sik.se/archive/pdf-filer-katalog/SR792.pdf>>. Acesso em: 11 de março de 2015.

CHYNOWETH, D.; OWENS, M.; LEGRAND, R. Renewable methane from anaerobic digestion of biomass. **Renewable Energy**, v. 22, p. 1-8, 2001.

DIAZ, G.O. **Análise de sistemas para resfriamento de leite em fazendas leiteiras com o uso do biogás gerado em projetos MDL**. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica de São Paulo, 2006.

DONG, H.; MANGINO, J.; McALLISTER, T.A.; HATFIELD, J.L.; JOHNSON, D.E.; LASSEY, K.R.; LIMA, M.A.; ROMANOVSKAYA, A.; BARTRAM, D.; GIBB, D.; MARTIN JR., J.H. Emissions from Livestock and Manure Management. In: GYTARSKY, M.; HIRAIISHI, T.; IRVING, W.; KRUG, T.; PENMAN, J. (Eds.). **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Geneve: IPPC, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Agropecuário 2006: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Pecuária Municipal, 2012**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <[https:// http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=21](https://http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=21)>. Acesso em: 31 de Junho de 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Pecuária Municipal, 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ppm/>>. Acesso em: 30 de setembro de 2016.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual**. Wembley: IPCC, 1996.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. (Eds.). Geneve: IPCC, 2007.

JÚNIOR, C.B.; LIBÂNIO, J.C.; GALINKIN, M.; OLIVEIRA, M.M. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2. ed. Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, FAO, Techno Politik Editora, 2009.

JURGEN, M.H. **Animal Feeding and Nutrition**. 6 ed. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company, 1988.

LÉIS, C.M.; CHERUBINI, E.; RUVIARO, C.F.; SILVA, V.P.; LAMPERT, V.N.; SPIES, A.; SOARES, S.R. Carbon footprint of milk production in

Brazil: a comparative case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, p. 46-60, 2015.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília: MCTI, 2013.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília: MCTI, 2014.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 6 ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1989.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**. Washington, D.C.: National Academy Press, 1996.

OENEMA, O.; WRAGE, N; VELTHOF, G.L.; VAN GROENIGEN, J.W.; DOLFING, J.; KUIKMAN, P.J. Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 72, p. 51-65, 2005.

PIRES, M. V.; CUNHA, D. A.; CARLOS, S. M.; COSTA, M. H. Nitrogen-use efficiency, nitrous oxide emissions, and cereal production in Brazil: current trends and forecasts. **PLoS ONE**, v. 10, n. 8, p. e0135234, 2015.

PRATI, L. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores**. 83 p. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, 2010.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R. T. S.; PEDREIRA, M. S.; LIMA, M. A.; BERCHIELLI, T. T.; BARBOSA, P. F. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.3, p. 277-283, 2004.

ROSENZWEIG, C.; TUBIELLO, F.N. Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 12, p. 855-873, 2007.

RUVIARO, C.F.; LÉIS, C.M.; LAMPERT, V.N.; BARCELLOS, J.O.J.; DEWES, H. Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 435-443, 2015.

RUVIARO, C.F.; COSTA, J.S.; FLORINDO, T.J.; RODRIGUES, W.; MEDEIROS, G.I.B.; VASCONCELOS, P.S. Economic and environmental feasibility of beef production in different feed management systems in the Pampa biome, southern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 930-939, 2016.

SALOMON, K.R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. 219 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Itajubá, 2007.

SMITH, P.; BUSTAMANTE, M.; AHAMMAD, H.; CLARK, H.; DONG, H.; ELSIDDIG, E.A.; HABERL, H.; HARPER, R.; HOUSE, J.; JAFARI, M.; MASERA, O.; MBOW, C.; RAVINDRANATH, N.H.; RICE, C.W.; ROBLEDO ABAD, C.; ROMANOVSKAYA, A.; SPERLING, F.; TUBIELLO, F. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: EDENHOFER, O.; PICHES-MADRUGA, R.; SOKONA, Y.; FARAHANI, E.; KADNER, S.; SEYBOTH, K.; ADLER, A.; BAUM, I.; BRUNNER, S.; EICKEMEIER, P.; KRIEMANN, B.; SAVOLAINEN, J.; SCHLÖMER, S.; VON STECHOW, C.; ZWICKEL, T.; MINX, J.C. (Eds.). **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge/New York: Cambridge University Press, 2014. pp. 812-922.

SORDI, A.; DIECKOW, J.; MORAES, A.; PIVA, J. T.; ALBUQUERQUE, M. A.; BAYER, C.; TOMAZI, M. **Emissão de óxido nitroso a partir**

de urina e esterco de bovinos em pastagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 2011, Uberlândia, MG. Solos nos Biomas Brasileiros: Sustentabilidade e Mudanças Climáticas, 2011. CD-ROM.

VELOSO E SILVA, C.A.B. **Limpeza e purificação de biogás.** 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal, 2009.

