

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

**Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em
diferentes cenários de intensificação de uso das
pastagens no Brasil Central**

Abmael da Silva Cardoso

2012



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

**Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de
intensificação de uso das pastagens no Brasil Central**

Abmael da Silva Cardoso

Sob a Orientação do Professor
Bruno José Rodrigues Alves

E Co-orientação do Professor
Segundo Urquiaga

Dissertação submetida como
requisito parcial para obtenção do
grau de **Mestre em Ciências**, no
Curso de Pós-Graduação em
Agronomia, Área de Concentração
em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Janeiro de 2012

631.84

Cardoso, Abmael da Silva,
1987-

Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil Central / Abmael da Silva Cardoso; orientador Bruno José Rodrigues Alves. Seropédica, 2012

85 f.: il.

Orientador: Bruno José Rodrigues Alves.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo.

Bibliografia: f. 66-82.

1. Mitigação - Teses. 2. Metano - Teses
3. Óxido Nitroso - Teses. I. Alves, Bruno José
Rogues, 1966-. II. Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro. Curso de Pós-graduação em
Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta dissertação, desde que seja citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO

Abmael da Silva Cardoso

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências,
no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 27/01/2012

Dr. Bruno José Rodrigues Alves, Embrapa Agrobiologia
(Orientador)

Dr. Alexandre Berndt, Embrapa Pecuária Sudeste

Dr. Roberto Oscar Pereyra Rossiello, UFRRJ

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação a Deus (YHVH) que operou um grande milagre em mim e me abençoa abundantemente.

Em especial:

Aos meus pais Geraldo José Cardoso e Rosenir Maria da Silva Cardoso;

Aos meus amigos;

A todos os me desejam bem

*“As adversidades despertam em nós capacidades que,
em circunstâncias favoráveis, teriam ficado adormecidas.”*

Quinto Horácio Flaco

*"A vitalidade é demonstrada não apenas pela
persistência, mas pela capacidade de começar
de novo"*

Scott Fitzgerald

AGRADECIMENTOS

A DEUS, que sempre iluminou meus caminhos;

Ao meu pai Geraldo José Cardoso, minha mãe Rosenir Maria da Silva Cardoso;

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudo para realização dos meus estudos de Mestrado.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, ao Curso de Pós Graduação em Agronomia - Ciência do solo e aos seus professores.

Aos Professores e pesquisadores Bruno J. R. Alves, Segundo Urquiaga, Robert Michael Boddey e Claudia Pozzi Jantalia pela orientação

A todos os companheiros do alojamento da Embrapa Agrobiologia, por terem compartilhado de companheirismo, alegrias e tristezas.

À Embrapa Agrobiologia, por todo apoio de estrutura, financeiro e pessoal para a realização do trabalho.

Aos amigos e colegas da Embrapa Agrobiologia, alojamento 233, Feab e alojamento da Embrapa.

A todos que fizeram parte deste caminho, mesmo não estando aqui presentes.

Muito obrigado!

BIOGRAFIA

Abmael da Silva Cardoso nasceu em Ceres, Goiás, no dia 19 de julho de 1987, filho e neto de agricultores familiares, tem a sua vida ligada a agropecuária. Em 2002 ingressa no curso Técnico Agrícola do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres, ainda no primeiro ano do Ensino Médio desperta interesse e gosto pela ciência participando da reunião anual da SBPC Jovem, culminando com participação da Feira Brasileira de Ciência e Engenharia (Febrace 2004). Ainda durante o curso técnico participou como representante discente do conselho de diretor da instituição e em várias comissões. Em 2005 ingressa na graduação na UFRRJ, em 2006 presta prova de ingresso para iniciação científica da Embrapa Agrobiologia obtendo a melhor nota. Em 2007 ingressa como bolsista de Iniciação Científica do CNPq no grupo de Ciclagem de Nutrientes na Embrapa Agrobiologia onde trabalhou com emissão de N_2O e opções de mitigação deste gás. Em março de 2010 gradua-se Engenheiro Agrônomo e no mesmo mês inicia o Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo onde passa a atuar com modelagem e balanço de gases de efeito estufa em sistemas de pastagens.

RESUMO

CARDOSO, Abmael da Silva. **Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil central** 84f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

A produção de bovinos de corte é responsável no Brasil por grande parte da emissão de gases de efeito estufa (GEE), especialmente metano pela fermentação entérica dos animais e óxido nitroso pela excreção. Mudanças no manejo e alimentação de animais bovinos podem repercutir numa redução das emissões destes gases por unidade de produto produzida. O objetivo deste trabalho de dissertação foi verificar o efeito da emissão de gases de efeito estufa em diferentes níveis de intensificação da pecuária de corte no Brasil aplicando diferentes fatores de emissão, bem como avaliar o efeito do sequestro de carbono sobre o balanço de carbono. Quatro cenários foram estabelecidos: o primeiro os animais passavam todo o ciclo em áreas com pastagens degradadas e sistema extensivo, o segundo os animais tinham o ciclo completo em pastagens resolutivas e sistema extensivo, o terceiro os animais eram criados em sistema extensivo em pastagens melhoras e com suplementação na recria e engorda e o quarto sistemas os animais eram criados em pastagens manejadas intensivamente com engorda em confinamento. Em função das características zootécnicas e baseadas em estudos nacionais a emissão de GEE para cada cenário foi calculada. Utilizando se a metodologia do IPCC tier2 cenário 2, a quantidade anual de CO₂ emitido por carcaça produzida, foi 35,47% menor em relação ao cenário 1. Menos 18,85% no cenário 3 em relação ao cenário 2. E, finalmente 19,6% menos no cenário 4 em relação ao cenário 3. Portanto a intensificação da bovinocultura de corte reduz a pegada de carbono da carne bovina. Entre os diferentes fatores utilizando no balanço de GEE o com fatores nacionais apresentou menor emissão por quilo de produto e a que aplicou o nível de detalhamento 2 do IPCC a maior. Quando incluso o Carbono sequestrado pelo solo no balanço os valores de mitigação aumentam para 83,92% entre o cenário 1 e 4 apontando para um potencial de mitigação ainda maior por unidade de produto. A associação entre intensificação e recuperação das pastagens com sequestro de carbono pelo solo apresentou um potencial de mitigação entre 14,91 e 83,92% das emissões por unidade de produto.

Palavras-chave: mitigação, metano e óxido nitroso.

ABSTRACT

CARDOSO, Abmael da Silva. Assessment of **greenhouse gas emissions from different scenarios of pasture intensification for central Brazil**. 84p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

The production of beef cattle in Brazil is responsible for much of the anthropogenic emission of greenhouse gases (GHG) emissions, especially methane from enteric fermentation and nitrous oxide from animal excretion. Changes in pasture management cattle diets may reflect a reduction in greenhouse gas emissions per unit of product produced. The objective of this dissertation was to simulate the effect of emission of greenhouse gases at different levels of intensification of beef production in Brazil by applying appropriate emission factors, and also to assess the effect of changes in soil carbon stocks on the carbon balance. Four scenarios were established: 1) animals spent the entire cycle in areas of degraded pastures and extensive system, 2) the animals spent the entire cycle on improved pastures but under an extensive system, 3) the animals were raised on extensive improved pastures and supplemented in growing and fattening systems and the 4) the animals were raised on pastures with intensive finishing in feedlots. The estimates of the GHG emissions were based on national studies of the characteristics and husbandry for each scenario. Using the methodology of the IPCC Tier 2 Scenario 2, the annual amount of CO₂ emitted per carcass produced was 35.47 % lower compared to scenario 1. Less than 18.85% in scenario 3 compared to scenario 2. And finally 19.6% lower in scenario 4 compared to scenario 3. The study showed clearly the reduction in emissions per unit of product when production systems were intensified. Among the different factors used to compute the GHG balance, that using with national factors had lower emissions per kg product and the methodology that uses the level of detail 2 of IPCC the largest. When the carbon sequestered by the soil was included in the balance sheet, values increase to 83,92% mitigation in the comparison of from scenario 1 with 4 pointing to an even greater mitigation potential per unit of product. The association between intensification and recovery of pastures with carbon sequestration by soil presented a mitigation potential of between 14,91and 83,92% of emissions per unit of product.

Key words: mitigation, methane, nitrous oxide.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Panorama dos sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil.....	14
Tabela 2 Características dos sistemas de produção prototípicos.....	16
Tabela 3 Características do rebanho (Gouvello et al, 2010; com adaptações).....	17
Tabela 4 Categorias de bovinos de corte classificados em função do peso (em quilogramas). Peso mínimo de entrada da categoria e peso máximo. As categorias touro e vaca presumem se peso constante.....	18
Tabela 5 Número de animais por categoria que compõem o rebanho em função do cenário simulado.	20
Tabela 6 Tempo de permanência (dias) em cada categoria de bovinos de corte para cada cenário de intensificação de produção.....	20
Tabela 7 Animais abatidos e produção total de carne por ano (quilos de carcaça equivalentes), área equivalente de cada rebanho (hectares) e lotação animal (UA* por hectare) em cada cenário simulado.....	21
Tabela 8 Taxa de conversão de metano (Ym)* apurada nos respectivos estudos de emissão de CH ₄ no Brasil.....	23
Tabela 9 Digestibilidade da dieta utilizada nos estudos com emissão de CH ₄ entérico no Brasil	23
Tabela 10 Fração de vacas que parem durante o ano (Taxa de Prenhez) apurado em estudos nacionais com vacas de corte.....	24
Tabela 11 Produção de leite diária (quilos) por vacas de corte e respectivos estado onde o estudo foi realizado o estudo	24
Tabela 12 Fração de gordura no leite de vacas de corte apurado em diferentes estudos nacionais.	25
Tabela 13 Emissões de metano acumuladas em 15 dias de avaliação no controle e nos tratamentos (1,2, 1,8 e 2,4 kg de fezes)	30
Tabela 14 Resultados da regressão entre os fluxos de CH ₄ e a temperatura no interior da câmara (X ₁), temperatura das fezes (X ₂), precipitação (X ₃) e umidade das fezes (X ₄)....	33
Tabela 15 Umidade das fezes de bovinos durante o período de amostragem de metano.....	34
Tabela 16 Temperatura das fezes de bovinos durante o período de avaliação. Seropédica, RJ. 2011	35
Tabela 17 Teor de carbono nas fezes de bovinos durante o período de amostragem de metano	36
Tabela 18 Emissão acumulada de N-N ₂ O durante o período de avaliação	36
Tabela 19 Resultados da regressão entre as fluxos de N ₂ O e a temperatura no interior da câmara (X ₁), temperatura das fezes (X ₂), precipitação (X ₃) e umidade das fezes (X ₄)....	38
Tabela 20 Quantidade de Matéria Seca (MS), nitrogênio, emissão acumulada e fração de N perdido na forma de N-N ₂ O em função das fezes frescas aplicadas em cada tratamento.	38
Tabela 21 Fluxos de N-N ₂ O no solo nu e com deposição de diferentes doses de urina durante 45 dias de avaliação. Outono de 2011. Seropédica, RJ.	40
Tabela 22 Resultados da regressão entre os fluxos de CH ₄ e a temperatura no interior da câmara (X ₁), precipitação (X ₂).	42
Tabela 23 Quantidade de N aplicado, emissão de N-N ₂ O e fator de emissão induzido.....	42

Tabela 24 Nitrogênio excretado por ano através das fezes e da urina. Fator de emissão e emissão total anual de N-N ₂ O encontrado no presente estudo e comparado com o fator de emissão do IPCC.	43
Tabela 25 Emissão de CO ₂ pelos insumos utilizados na pecuária e agricultura, desde a produção do mesmo à entrega na fazenda. Organizado por Monteiro (2009)	44
Tabela 26 Fatores de emissão para insumos utilizados dentro de uma fazenda de produção de bovinos de corte.....	44
Tabela 27 Taxa de acúmulo/perda de carbono pelo solo em função do tipo de manejo da pastagem em cerrados do Mato Grosso e Rondônia.....	45
Tabela 28 Fatores de emissão de GEE default utilizado em inventários nacionais (Tier1) para bovinos de corte e em pastagens na América Latina.....	46
Tabela 29 Fatores de GEE obtidos em estudos nacionais com bovino de corte.	47
Tabela 30 Produção total de metano pelo rebanho nos diferentes sistemas de produção avaliados. Quilogramas de metano.....	48
Tabela 31 Produção entérica de metano (Quilogramas) pelas distintas categorias animais nos diferentes sistemas de produção avaliados	49
Tabela 32 Fator de Emissão CH ₄ : Emissão em kg por animal por ano por categoria e por cenário	49
Tabela 33 Contribuição das diferentes categorias animais em relação à produção total de metano entérico nos diferentes sistemas de produção avaliados.	51
Tabela 34 Emissão total anual de N ₂ O pelos rebanhos dos cenários avaliados.	53
Tabela 35 Emissão de óxido nitroso total (urina+fezes) por animal, por ano ou tempo de permanência na fase.....	54
Tabela 36 Área plantada, produtividade e emissão de GEE do milho para silagem, milho para grão e soja destinados à alimentação dos animais confinados (Cenário 4) em 1 período de confinamento.	55
Tabela 37 Total emitido em quilos de CO ₂ equivalentes pelo uso de energia, combustível dentro da fazenda, adubação e calagem, vacinas e sal mineral	55
Tabela 38 Quilogramas de CO ₂ eq emitidos pelo rebanho de cada cenário simulado em um ano	56
Tabela 39 Quilogramas de CO ₂ eq emitido por 1 cabeça durante o seu nascimento até o abate em cada cenário simulado.....	56
Tabela 40 Produção de metano, óxido nitroso, dióxido de carbono, carcaça e equivalente de CO ₂ por unidade de carcaça produzida, para os quatro cenários de sistemas de produção simulados.....	57
Tabela 41 Emissão de CO ₂ eq, sequestro de carbono pelo solo; equivalente por unidade de carcaça produzida, para os quatro sistemas simulados.....	58
Tabela 42 Emissão de metano, óxido nitroso, dióxido de carbono e produção de carcaça; equivalente por unidade de carcaça produzida, para os quatro sistemas simulados.....	58
Tabela 43 Emissão de metano, óxido nitroso, dióxido de carbono e carcaça; equivalente por unidade de carcaça produzida, para os quatro cenários avaliados.....	59
Tabela 44 Emissão de CO ₂ equivalente, sequestro de carbono pelo solo; balanço de CO ₂ , produção total de carcaça, CO ₂ equivalente por unidade de carcaça produzida, em função dos 4 Cenários avaliados.	60

Tabela 45 Emissões de CO ₂ eq por kg de carcaça sem a inclusão do sequestro de carbono pelo solo e com a inclusão do sequestro. Mitigação potencial em percentual em função da inclusão do sequestro de carbono pelo solo.....	63
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Modelo conceitual “hole-in-the-pipe” (adaptado de Firestone & Davidson, 1989). ...	8
Figura 2 À esquerda: unidade experimental mostrando a base da câmara estática e no centro a excreta de bovinos. Direita: visão parcial do experimento em destaque as câmaras com as tampas acopladas durante o período de incubação.....	26
Figura 3 Temperatura no interior da câmara no momento de fechamento das câmaras (Tempo zero) e no momento da coleta de gases (Tempo 30). Seropédica, RJ. 2011	29
Figura 4 Precipitação pluvial no local do experimento durante a coleta de CH ₄ e N ₂ O (06/04/11 a 20/04/11). Seropédica, RJ.	30
Figura 5 Fluxos diários de metano pelos tratamentos solo, 1,2, 1,8 2,4 kg de fezes e respectivos erros durante 14 dias de avaliação.	31
Figura 6 Regressão linha cheia entre as quantidades de fezes e as respectivas emissões líquidas de CH ₄ induzidas pelas mesmas. Os números entre parêntesis representam o erro padrão de cada coeficiente da equação de regressão.	32
Figura 7 Emissões diárias de CH ₄ e erro padrão da média. No gráfico A observamos o tratamento controle (solo). No gráfico B observamos o tratamento 1,2 kg de fezes. No Gráfico C observamos o tratamento 1,8 kg de fezes e no Gráfico D o tratamento 2,4 kg de fezes.	32
Figura 8 Acumulação percentual (dia a dia) das emissões de CH ₄ em relação ao total emitido durante o período de avaliação.	33
Figura 9 Fluxos diários de N ₂ O durante o período de avaliação.	37
Figura 10 Percentual acumulado (dia a dia) durante o período de avaliação das emissões de N-N ₂ O em função das diferentes quantidades de fezes frescas adicionadas.	37
Figura 11 Regressão linear entre as quantidades de fezes e os fluxos de N-N ₂ O. Os números entre parêntesis representam o erro padrão de cada coeficiente da equação de regressão A regressão não significativa a 5 % pelo teste de Fisher. Erro! Indicador não definido.	
Figura 12 Temperatura ambiente e temperatura no interior da câmara no momento de amostragem. (°C).	39
Figura 13 Precipitação pluvial durante o período de avaliação. (mm de chuva).....	40
Figura 14 Fluxo diário em micrograma de N-N ₂ O dia ⁻¹ e respectivo erro padrão por tratamento, solo sem adição de urina, 1, 1,5 e 2 litros de urina.....	41
Figura 15 Emissão de N ₂ O acumulada em percentual (5 a 5 dias) pelo solo, e tratamentos 1, 1,5 e 2 litros respectivamente.	41
Figura 16 Regressão linear entre as doses aplicadas e o total emitido nas respectivas repetições. Os números entre parêntesis representam o erro padrão. Regressão significativa pelo teste de Fisher ($\alpha = 0,05$).	43
Figura 17 Emissão de metano pelas fases de cria, recria e engorda em relação ao total de metanos entérico emitido nos cenários de sistemas de produção avaliados.	51
Figura 18 Produção de metano por quilo de carne nos diferentes sistemas de produção avaliados.	52
Figura 19 Emissão anual de óxido nitroso total, através da urina e das fezes, nos diferentes sistemas avaliadas.	53
Figura 20 Pegada de carbono nos diferentes cenários avaliados e utilizando as metodologias no nível de detalhamento Tier 2, Tier 1 e pesquisas nacionais.	61

Figura 21	Peso de cada gás em percentual dentro da pegada de carbono em cada cenário avaliado. Da esquerda para a direita, os primeiros 4 cenários aplicando a metodologia nível de detalhamento Tier 2, em seguida o Tier 1 e finalmente os fatores nacionais.	61
Figura 22	Potencial de mitigação das emissões por unidade de produto comparando os d cenários entre si e em relação às metodologias utilizadas que aplicou fatores de estudos nacionais, Tier 1 e Tier 2 do IPCC (2006).	62
Figura 23	Potencial de mitigação em percentual entre os diferentes cenários (C1, C2, C3 e C4 correspondem aos Cenários avaliados e suas respectivas interação). Considerando apenas a intensificação e quando incluso o sequestro de Carbono pelo solo.....	63
Figura 24	Pegada de carbono para produzir um quilo de carne bovina em diferentes países selecionados e os valores calculados para o Brasil em diferentes cenários de produção.	64

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1.	Mudanças Climáticas e Gases de Efeito Estufa	3
2.2.	O sequestro ou emissão de CO ₂ pelo solo	4
2.3.1.	Emissão de metano pelas fezes de ruminantes	5
2.3.2.	Metano oriundo da fermentação entérica em bovinos.....	6
2.4.	Óxido Nitroso	7
2.5.	Pastagens e mitigação das emissões derivadas da pecuária	9
2.6.	Os modelos de simulação	10
2.7.	Caracterização do Brasil Central e seus sistemas de produção de bovinos de corte	11
3.	MATERIAL EMÉTODOS.....	15
3.1.	Análise dos gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso da pastagem.....	15
3.2.	Cenários prototípicos.	15
3.3.	Categorias de animais	18
3.5.	Cálculo das emissões de CH ₄ segundo o nível de detalhamento 2(Ter 2) do IPCC	21
3.6.	Calculo da emissão de metano e óxido nitroso por fezes de bovinos depositadas diretamente no solo de pastagem.	25
3.6.1.	Descrição da área dos estudos	25
3.6.2.	Implantação e condução do experimento	26
3.6.3.	Quantificação dos fluxos de metano.....	27
3.6.4.	Quantificação dos fluxos de óxido nitroso	27
3.6.5.	Avaliação da umidade e teor de carbono nas fezes	27
3.6.6.	Quantificação das emissões de N ₂ O por urina de bovinos em pastos	28
3.6.7.	Análise estatística	28
3.6.8.	Temperatura ambiente e precipitação pluvial apuradas durante o primeiro experimento	29
3.6.9.	Fluxo de CH ₄ em pastagens em função das fezes	30
3.6.10.	Resultados da avaliação da umidade e temperatura das fezes	34
3.6.11.	Teores de Carbono das fezes durante o período de avaliação	35
3.6.12.	Resultado das avaliações das emissões de N ₂ O	36
3.6.13.	Resultados do experimento de N ₂ O induzido pela adição de urina.....	39
3.6.14.	Avaliações de temperaturas e precipitação pluvial no segundo experimento ..	39
3.6.15.	Fluxos de N ₂ O induzidas pela micção de bovinos em pastagem	40
3.7.	Fatores de emissão diretos de N-N ₂ O de urina e fezes bovinas	42
3.8.	Cálculo da emissão de CO ₂ para produção de silagem e demais atividades	44
3.9.	Sequestro ou perda de carbono do solo nos sistemas simulados	45
3.10.	Cálculo das emissões totais de gases de efeito estufa e da pegada de carbono	45

3.11.	Avaliação das emissões de GEEs utilizando o nível de detalhamento do Tier1 do IPCC.....	46
3.12.	Análise do ciclo de vida de diferentes cenários de produção de bovinos de corte utilizando fatores de emissão de GEE obtidos em condições brasileiras	47
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1.	Análise das emissões de GEE em diferentes cenários avaliados calculados pela metodologia IPCC Tier 2	48
4.1.1.	Emissões de CH ₄	48
4.1.2.	Emissões de N ₂ O	52
4.1.3.	Emissões de CO ₂ pela alimentação e atividades relacionadas ao sistema de produção de bovinos	54
4.1.4.	Análise das emissões de CO ₂ equivalente pelos Cenários avaliados	56
4.1.5.	Balanço de carbono equivalente por produto considerando a Mudança no Uso da Terra.....	57
4.2.	Balanço de Gases de Efeito Estufa através do nível de detalhamento 1 (Tier 1) do IPCC	58
4.2.1.	Balanço de GEE utilizando o nível de detalhamento 1 do IPCC incluindo a mudança no uso da terra	59
4.3.	Balanço de gases de efeito estufa aplicando-se fatores de emissão de pesquisas feitas no País	59
4.3.1.	Balanço de CO ₂ eq utilizando fatores nacionais e incluindo as mudanças no estoque de carbono do solo.....	59
4.4.	Avaliação do Balanço de Gases de Efeito Estufa em função da intensificação da bovinocultura de corte e das diferentes metodologias aplicadas	60
5.	CONCLUSÕES	65
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
7.	GLOSSÁRIO.....	83

1. INTRODUÇÃO

O Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) apresentou uma abundante quantidade de provas científicas, sobre as mudanças climáticas. E o relatório de STERN apud GOUVELLO (2010) trouxe uma análise sobre a economia das mudanças climáticas, onde se enfatiza os riscos severos à vida humana, ao meio ambiente e a economia global. Diante desse cenário, a comunidade científica deve se debruçar em estudos que visem mitigar as mudanças climáticas.

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2011), o Brasil poderá se tornar o maior produtor de alimentos no mundo em 20 anos, produzindo o dobro de carne e o quádruplo de grãos e fibras. Não obstante, segundo o estudo de CERRI et al., (2009), a agropecuária é a principal responsável pela emissão de gases de efeito estufa no Brasil, destarte metano proveniente da fermentação entérica e óxido nitroso da adubação nitrogenada.

Na atividade agropecuária o dióxido de carbono (CO_2) é emitido pelo cultivo dos solos e também pelo uso de energia fóssil em operações agrícolas, incluindo-se a associada aos insumos como rações, fertilizantes, inseticidas entre outros. O metano (CH_4) é emitido através da fermentação entérica e em menor parte pelas fezes dos animais. Finalmente o óxido nitroso (N_2O) é emitido, principalmente, pela adubação nitrogenada e pelas fezes e urina dos animais. A quantificação das emissões e a importância dos fatores chave envolvidos nas emissões foram pouco avaliadas no Brasil, e ainda representam uma das prioridades de pesquisa em nível global.

O Brasil é um dos principais atores do mercado mundial de carne bovina. De acordo com o USDA (2011), em 2011, o Brasil respondeu por 16,6 % da produção mundial de carne bovina (9,41 milhões de toneladas de equivalente carcaça) e por 22,4 % das exportações (1,81 milhões de toneladas de equivalentes). A bovinocultura é predominantemente conduzida em sistemas pastoris extensivos com taxa de lotação e desempenho animal muito abaixo do potencial (IBGE, 2006). Esses fatos implicam na possibilidade de redução das emissões pelo uso de sistemas de produção intensivos, mais tecnificados (ex. sistema confinado, integração lavoura-pecuária e confinamento).

O cerrado possui 54 milhões de hectares de pastagens (SANO et al., 2008), sendo a maioria dessa área ocupada por bovinos de corte, cujos solos podem acumular ou perder C, dependendo do uso e do manejo aplicado à pastagem. As pastagens produtivas podem manter altos estoques de C no solo como foi observado por MAIA et al., (2009) quando produtivas ou diminuir os estoques quando degradadas, e que a oferta de forragem de melhor qualidade implica em redução do tempo do bovino para atingir peso de abate, implicando em menores emissões de metano por unidade de produto (PEDREIRA et al., 2004). No sentido contrário, a alimentação mais rica em proteína implica em maior excreção de N, que tem efeito direto nas emissões de N_2O (CERRI et al., 2009), também se devendo levar em consideração que a manutenção da produtividade do sistema requer maior entrada de energia de origem fóssil utilizada em insumos, máquinas, implementos e instalações. Em função das muitas variáveis envolvidas, o ajuste do sistema de produção para maior eficiência ambiental tem sido feito por modelagem e análise de cenários (p. ex. GOUVELLO, 2010).

A elaboração de cenário constitui um instrumento apropriado para comparar ações alternativas, intrinsecamente incertas e com alta variabilidade, constituindo uma forma de ordenação de percepção sobre ambientes e situações passadas ou futuras (TORQUIST, 2007).

Um das Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas (NAMA) para permitir o desenvolvimento da pecuária brasileira com mitigação de gases de efeito estufa é a recuperação de pastagens (BRASIL, 2010). Como mencionado anteriormente, a lógica da

mitigação com a recuperação da pastagem está na intensificação do sistema de produção, com maior produção de carne por unidade de área, acompanhada por menor emissão de gases de efeito estufa. No entanto, não é claro até que nível de intensificação do sistema de produção pode-se atingir eficiência econômica e ambiental.

Assim, a hipótese científica nula estabelecida para esse estudo foi a de que a recuperação da pastagem, com a intensificação da produção de carne, diga-se do sistema extensivo de baixa lotação animal até o de pastagens produtivas com confinamento, não resulta em crescente redução dos gases de efeito estufa.

Os objetivos do estudo foram:

- a) Levantar informações da literatura para parametrizar cenários de intensificação de pastagens estabelecidos para as condições do Brasil central.
- b) Estimar as emissões de GEE de diferentes cenários de manejo da pastagem para produção de bovinos de corte, utilizando-se de modelagem matemática.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Mudanças Climáticas e Gases de Efeito Estufa

O aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) como o gás carbônico (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), devido a atividades antropogênicas, está fazendo com que a temperatura global do planeta se eleve pela maior retenção do calor proporcionada pelos mesmos. Esses gases, juntamente com o vapor d'água, permitem que a radiação solar, principalmente na forma de luz visível, atinja a superfície do planeta, porém bloqueiam parcialmente a radiação infravermelha que é emitida da superfície para a atmosfera, provocando um efeito estufa (IPCC, 2006).

De acordo com MOSS et al., (2000), até 2030 a temperatura do planeta terá aumentado entre 0,5 °C e 2,5 °C, enquanto que para o painel das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC), a temperatura poderá aumentar 4,0 °C até 2100 (IPCC, 2007 b) no cenário mais pessimista. O aumento da temperatura média global deverá resultar em um aumento médio do nível do mar de 27 a 26 cm até 2030 (MOSS et al., 2000). Este aumento do nível do mar é principalmente um resultado da expansão térmica da água dos oceanos e do derretimento do Ártico e da Antártica.

A taxa de acréscimo da temperatura da superfície terrestre se situará em 0,27 °C por década, e do oceano, 0,13 °C por década, tendo como conseqüências o aumento no vapor d'água atmosférico, derretimento das geleiras, redução da cobertura de neve nos Hemisférios Norte e Sul, e uma redução significativa na extensão do mar de gelo do Ártico (2,7% por década desde 1978) (SOLOMON et al., 2007). Chama-se a atenção para o fato de que o aumento estimado da temperatura da superfície global para o período de 1906 a 2005 foi de 0,74 °C (SOLOMON et al., 2007).

O efeito estufa é um mecanismo natural que mantém a temperatura média do planeta entre 14 a 16 °C desde antes da forte interferência da humanidade, registrada na atualidade, que está alterando a concentração dos GEE (YOUNG, 2002). No entanto, a preocupação global não está voltada para o aquecimento causado por fontes naturais de GEE, sem o qual o planeta seria muito frio pra suportar, mas sim no aumento das concentrações de GEE na atmosfera por ação antropogênica (induzidas pelo homem), que causam o aquecimento global adicional e, conseqüentemente, as mudanças climáticas.

Cada tipo de gás com potencial de efeito estufa (CO_2 , CH_4 , N_2O , e clorofluorcarbonos) absorve e emite radiação em bandas específicas do espectro, mas o saldo entre o que é absorvido e emitido é limitado e diferente para cada gás (MOSS et al., 1993). À medida que aumenta a altitude na troposfera, a temperatura diminui, de modo que o calor associado com a radiação que é emitida em altitudes elevadas é menor do que o calor associado com a radiação emitida em altitudes mais baixas. Com a maior concentração de GEE na troposfera, a radiação emitida da superfície é mais absorvida nessa camada da atmosfera, fazendo com que a radiação não chegue com a mesma intensidade na atmosfera superior, que fica mais fria (SOLOMON et al., 2007).

Os GEE que contribuem para o aquecimento global estão presentes em pequenas concentrações na atmosfera, mas os monitoramentos feitos em várias regiões do planeta mostram que permanecem aumentando desde a era pré-industrial (FORSTER et al., 2007). Ao longo de 250 anos, a concentração de CO_2 aumentou de 280 para 390ppmv (partes por milhão em volume), e na última década aumentou com uma taxa de 2 ppmv ano⁻¹, equivalente a um incremento de 3,3 Pg de C ano⁻¹ (1Pg = 10¹⁵ g ou 1 bilhão de toneladas) (IPCC, 2007). A concentração de N_2O aumentou cerca de 16%, de 270 para 320 ppbv (partes por bilhão em volume), ou a uma taxa de 0,8 ppbv ano⁻¹. A concentração de CH_4 aumentou cerca de

150%, passando de 700 para 1745 ppbv neste mesmo período, e vem aumentando a uma taxa de 3 ppbv ano⁻¹ (IPCC, 2007).

O quarto relatório do IPCC (2007) relata que a conversão de ecossistemas nativos para agrossistemas contribuem atualmente, com aproximadamente 24% das emissões mundiais de CO₂, 55% das emissões de CH₄ e 85% das emissões de N₂O para atmosfera. CERRI et al., (2009) utilizando a metodologia *Climatic Analysis Indicator Tool* apresentaram dados para o Brasil em que as emissões de GEE oriundas da mudança de uso da terra e da agropecuária são relativamente bem mais acentuadas, representando aproximadamente 75, 91 e 94% do total das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O, respectivamente. No mesmo estudo, os autores ponderam ainda que, desconsiderando a mudança no uso da terra e o setor agropecuário, o Brasil situa-se em 17º lugar na classificação mundial dos países mais emissores de GEE, entretanto se estes dois setores forem considerados o país ocupará a 5ª posição. No entanto, o quarto relatório do IPCC (2007) mostra que o Brasil é o 14º do mundo se somente a energia fóssil for considerada. E considerando somente a mudança no uso da terra e florestas, o Brasil é o primeiro, seguido da Indonésia. Não obstante, inferências sobre a contribuição da mudança de uso da terra e do setor agropecuário nas mudanças climáticas globais são mais laboriosas de serem quantificadas quando comparadas aos demais setores da economia, uma vez que os GEE são provenientes de fontes difusas e sistemas de difícil simplificação.

2.2. O sequestro ou emissão de CO₂ pelo solo

Durante a terceira conferência entre as partes COP-3 em Quioto (1997) foi definido que sequestro de C é a captura e estocagem de CO₂ da atmosfera com a finalidade de conter e reverter o aquecimento resultante do efeito estufa. Desde então, uma variedade de meios artificiais de captura e de sequestro do carbono, assim como processos naturais, estão sendo estudados e explorados. A conservação de estoques de carbono nos solos, florestas e outros tipos de vegetação, a preservação de florestas nativas, a implantação de florestas e sistema agroflorestais, a recuperação de áreas degradadas entre outros contribuem do ponto de vista biológico para a redução da concentração do CO₂ na atmosfera (BRITISH COUNCIL, 2012).

Já as emissões de CO₂ estão associadas principalmente às mudanças no uso da terra no Brasil, especialmente pela conversão de florestas em pastagem ou em sistemas agrícolas. O solo representa o maior reservatório terrestre de C, contendo aproximadamente 1550 Pg deste elemento (LAL, 2004; 2008), o que equivale a mais de duas vezes a quantidade estocada na vegetação ou na atmosfera (CERRI et al., 2006; ANDERSON-TEIXEIRA et al., 2009). A emissão de CO₂ está relacionada à respiração pelas raízes e organismos do solo ao longo do tempo, e quando a respiração é superior à deposição de material orgânico ocorre perda de C no solo (BUSTAMANTE et al., 2006). A conversão de áreas de vegetação nativa em pastagens com baixa produtividade e mal manejadas tem apresentado redução dos teores de C orgânico do solo (CARVALHO, 2009; FEARNSIDE & BARBOSA, 1998; CERRI et al., 1999) no bioma amazônico e do cerrado.

Na décima quinta conferência entre as partes COP-15 em Copenhague (2009) o governo brasileiro assumiu metas voluntárias de redução nas emissões de GEE. Entre as atividades propostas está a redução no desmatamento da Amazônia e do Cerrado, que representa aproximadamente 70% do total das metas, além da recuperação de pastagens degradadas e da adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária, que representa aproximadamente 12% desse total. Mais ainda, se propõe um aumento no uso da fixação biológica de nitrogênio e do plantio direto (BRASIL, 2010). Assim, do total das metas de redução de GEE que o Brasil propôs em seus NAMAs, aproximadamente 90% são originários da agropecuária e da mudança no uso da terra.

A estratégia de redução de emissões de GEE através da recuperação de pastagens degradadas também foi adotada por Portugal, abrangendo 42.000 hectares em 2 anos, com um sequestro estimado em 910 Gg (mil toneladas) de equivalentes de CO₂ (WATSON, 2010). A Austrália também se mobilizou para adoção dessa mesma estratégia em áreas de pastagens (McKINSEY, 2010). Inclusive, o autor propõe a venda de créditos de carbono pelos proprietários de pastagens.

A quantidade de C em áreas de pastagens bem manejadas é superior a de áreas degradadas quando comparados solos de mesma textura e estrutura. Portanto, áreas com pastagens são factíveis de mitigar os GEE. Após a mudança de uso na terra espera-se que o C do solo entre em novo equilíbrio, mas a maior eficiência de produção de carne e leite, e de outros produtos, implica em emissões de CH₄ relativamente menores (CERRI et al., 2010).

2.3. Metano

O metano é produzido por arqueobactérias, que pertencem ao sub-reino Archaea, sendo um gás produzido em condições anaeróbias. As arqueias vivem no estômago dos ruminantes e são responsáveis pelas emissões de CH₄ associadas às pastagens (MOSIER et al., 2004). É um potente gás de efeito estufa; 1ppmv de CH₄ incrementado na atmosfera proporciona 0,2°C de aumento na temperatura média global, o que se deve a sua capacidade de absorver radiação da luz solar em um amplo espectro da luz infravermelha, e não compete muito com outros gases no seu espectro de absorção (MOSS, 1993). Portanto o CH₄ pode desempenhar um papel muito maior no aquecimento global no futuro, se a sua concentração atmosférica aumentar ainda mais. Devido ao seu elevado potencial de aquecimento (25 vezes maior que o CO₂) e o seu tempo de vida curto na atmosfera (12 anos), reduzir as emissões de CH₄ é uma boa opção para conseguir uma redução em curto prazo do aquecimento global.

O CH₄ é emitido tanto por fontes naturais como antropogênicas. As fontes naturais incluem as zonas úmidas, os ruminantes selvagens, oceanos e lagos, cupins etc. As principais fontes antropogênicas são a queima de vegetação e combustíveis fósseis, mineração de carvão, petróleo e gás, produção de arroz, rebanhos de ruminantes, aterro sanitário e o manejo de resíduos e detritos (MOSIER et al., 1991).

Os ruminantes produzem o CH₄ com a fermentação entérica e o eliminam por eructação, principalmente (CRUTZEN et al. 1986). A produção pelas fezes desses animais também é significativa no total de CH₄ emitido, porém representa uma pequena fração da produção entérica.

2.3.1. Emissão de metano pelas fezes de ruminantes

Sabe-se que o CH₄ é produzido tanto no rúmen como no intestino grosso. Assim, é concebível que os micro-organismos, incluindo as bactérias metanogênicas, sejam excretados e estejam presentes no material fecal acumulado, podendo assim continuar a fermentação de produtos de carbono sob certas condições ambientais (altas temperatura, umidade e ambiente anaeróbico) (GONZÁLEZ-AVALOS & RUIZ-SUÁREZ, 2001). Pesquisas realizadas em condições de pastejo, em clima temperado (temperatura 15-22 °C) da Inglaterra, mostraram que o CH₄ emitido pelas fezes excretadas em pastagem totalizou aproximadamente 0,2% do que se produziu no rúmen, a uma taxa de 0,603 g vaca⁻¹dia⁻¹ (JARVIS et al., 1995). Outras pesquisas na Austrália, com fezes em pastagem, mostraram taxas de emissão de CH₄ de 2,74 g vaca⁻¹dia⁻¹, durante os meses de dezembro a março (Temperatura 25-32 °C) (WILLIAMS, 1993). Em uma revisão sobre emissão de CH₄ a partir de fezes, SAGGAR et al. (2004) relataram intervalo de resultados entre 0,167 a 3,236 g CH₄ kg⁻¹ de fezes. Os estudos conduzidos na Austrália mostram que, a produção de CH₄ a partir de fezes é inferior a 3% do

produzido no rúmen (WILLIAMS, 1993) e apenas o manejo com lagoas de decantação seriam susceptíveis de produzir significativas emissões de CH₄ a partir de fezes de bovinos de corte (LODMAN et al, 1993).

2.3.2. Metano oriundo da fermentação entérica em bovinos

A produção entérica de CH₄ surge principalmente a partir da fermentação microbiana dos carboidratos da dieta hidrolisada, como celulose, hemicelulose, pectina e amido (CRUTZEN et al., 1986). A energia para o crescimento microbiano da matéria orgânica em ambientes anaeróbicos é derivada da oxidação do substrato, envolvendo transferência de elétrons para receptores, que não o oxigênio (O₂) derivado do substrato. Tais processos ocorrem no trato intestinal dos ruminantes (rúmen) e não-ruminantes (ceco) e no esterco armazenado (DEMEYER & VAN NEVEL, 1975). Os substratos primários para a metanogênese ruminal são hidrogênio (H₂) e CO₂. A maioria do H₂ é produzida durante a fermentação dos carboidratos da dieta hidrolisada, e muito do que é gerado durante a conversão de hexoses em acetato ou butirato via piruvato, acaba em CH₄. Quantidades significativas de CH₄ ruminal, especialmente com dietas de alta proteína, também podem surgir a partir da fermentação microbiana dos aminoácidos, que tem o CH₄ como um dos produtos finais, além da amônia, ácidos graxos voláteis (AGV) e CO₂ (MILLS et al. 2003).

A quantidade de CH₄ produzido por um animal é influenciada por muitos fatores, incluindo-se fatores nutricionais, como o tipo de carboidrato na dieta, o nível de consumo de ração, o nível de produção (por exemplo, a produção anual de leite e produtos lácteos), taxa de passagem da dieta, a presença de ionóforos, o grau de saturação dos lipídios na dieta, fatores ambientais, tais como a temperatura (McALLISTER et al., 1996), e fatores genéticos, como a eficiência de conversão alimentar (NKRUMAH et al., 2006).

2.3.3. Metano do solo

No solo o CH₄ é produzido pela metanogênese em condições anaeróbicas, condição comum em solo inundado (YANG & CHANG, 2001), em que a alta saturação por água implica em baixa oxigenação. Entretanto, em condições aeróbicas, o solo pode funcionar como dreno de CH₄ atmosférico. A maior absorção biológica de CH₄ ocorre pela oxidação por bactérias metanotróficas em solos bem drenados (HUTCH, 2001; XU et al., 2003), tal como observado nos Latossolos da região do Cerrado no Brasil (CARDOSO et al., 2001; SOUSA-NETO et al., 2011).

A emissão de CH₄ na pastagem pode estar associada à maior retenção de água pelo solo, à maior presença de sítios de anaerobiose resultante principalmente do pisoteio de animais e ainda à deposição de dejetos neste solo. A deposição dos dejetos (fezes e urina) nas pastagens é uma importante fonte de CH₄ e N₂O para atmosfera (CERRI et al., 2009).

CARDOSO et al., (2001) estudaram as taxas de oxidação de CH₄ em solos do cerrado cultivados, com pastagem e pastagem com leguminosas. Os autores observaram um efeito sazonal nas taxas de oxidação, com redução durante o período chuvoso. KING & AAMSEN (1992) afirmam que menores taxas de oxidação de CH₄ durante a estação chuvosa estariam associadas a restrições no transporte do gás no solo, estando relacionadas com a porosidade do solo e o espaço ocupado por O₂.

No estudo de CARDOSO et al., (2001) os autores encontraram taxas de oxidação de CH₄ médias de 13,84, 13,32, 12,99 e 12,47 g C ha⁻¹dia⁻¹, respectivamente para áreas de Cerrado, lavoura, pastagem e pastagem com leguminosa, não havendo diferenças entre os tratamentos. Nos meses chuvosos, as médias dessas taxas foram de 10,25, 10,03, 7,70 e 8,87 g C ha⁻¹dia⁻¹, tendo as áreas de pastagem apresentado taxas significativamente menores. As

emissões totais encontradas pelos autores indicam que área com cultivo anual (soja) em solos de Cerrado proporcionou taxas anuais de oxidação superiores às das pastagens, praticamente igualando-se àquelas observadas no solo de Cerrado. Essas menores taxas de oxidação de metano podem ser resultado da compactação superficial do solo, causada pelo pastejo de animais (LAUREN et al., 1995). Neste estudo, os autores não confirmaram as hipóteses levantadas por OJIMA et al., (1993), por exemplo, de que atividades agrícolas, principalmente com adição de fertilizantes, reduziriam a oxidação de CH_4 do solo.

WEIER (1996) estudou as taxas de oxidação de CH_4 na cultura da cana de açúcar no Noroeste da Austrália. O autor avaliou o efeito da presença e ausência da palhada com a adição de 160 kg N ha^{-1} na forma de ureia e nitrato de potássio, e sem adição de nitrogênio. O tratamento com adição de nitrato de potássio apresentou taxas de oxidação de 20,64 e 16,61 $\text{kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para áreas sem palhada e com palhada, respectivamente. No tratamento com ureia, as taxas foram de 10,73 e 15,01 $\text{kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e finalmente, no tratamento sem adição de N, as taxas de oxidação foram de 10,29 e 12,05 $\text{kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. DENMEAD et al., (2010) encontraram também na Austrália emissões próximas a zero em áreas com cana-de-açúcar.

DELMAS et al., (1997) encontraram pequenas taxas de oxidação de CH_4 em algumas áreas de agricultura comparadas com as de solos de savana na Loudina, uma região do Congo. A taxa de oxidação nas savanas foi de 40,3 g de C $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto em solos agrícolas, plantado com mandioca, arado e plantado com amendoim, as taxas de oxidação foram respectivamente de 33,03, 29,78 e 28,00 g C $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

VERCHOT et al., (2000) encontraram uma grande variação nas emissões e drenos de CH_4 em solos de pastagem. Durante o período de chuvas as pastagens apresentaram as maiores emissões de CH_4 , e durante o período seco, oxidação desse gás. Os autores atribuem essa variação às diferenças de textura do solo, umidade e precipitação. MOSIER et al., (2004) discutem que a conversão de áreas de floresta para pastagens ocasionam uma diminuição nas taxas totais de oxidação de metano. KELLER & REINERS (1994) realizaram dois estudos, avaliando no primeiro, áreas de pastagem abandonada e de floresta secundária na Amazônia, e em um segundo, compararam áreas de floresta secundária com floresta primária. As áreas com pastagens apresentaram menores taxas de oxidação de metano, que por sua vez foram menores nas áreas de floresta secundária em relação à floresta primária.

SOUSA NETO et al., (2011) também encontraram oxidação de CH_4 em solos tropicais. Os autores estudaram a influência da altitude (100, 400 e 1000 m) em área de Floresta Atlântica sobre os fluxos de CH_4 . As taxas de oxidação do CH_4 foram de 6,57, 11,83 e 10,49 kg de C $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, embora as variações encontradas não tenham apresentado significância estatística. A oxidação de CH_4 em áreas com Floresta Atlântica foi superior aos 3,5 kg de C $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ estimados por CARDOSO et al (2001) para áreas de Cerrado. Os potenciais de oxidação de CH_4 pelos solos brasileiros sob vegetação nativa, culturas agrícolas e pastagens podem ser significativos e contribuir para a mitigação do efeito estufa.

2.4. Óxido Nitroso

As fontes naturais de N_2O incluem os oceanos, o solo das florestas, savanas e campos, enquanto as fontes antropogênicas incluem os solos agrícolas, os dejetos de animais, fertilizantes nitrogenados, resíduos vegetais, a produção de nylon e de ácido nítrico, queima de resíduos e de combustíveis fósseis (FORSTER et al., 2007). As emissões antropogênicas de N_2O representam aproximadamente 40% do total (SOLOMON et al., 2007). De acordo como NEVISON & HOLANDA (1997), o aumento de emissões de N_2O por cultivos agrícolas é causado pelo aumento da disponibilidade de N no solo, principalmente pelo uso de fertilizantes.

O N_2O apresenta potencial de aquecimento global cerca de 300 vezes o do CO_2 (RAMANATHAN, 1998; ROBERTSON & GRACE, 2004; IPCC, 2007). Também é responsável pela redução do ozônio estratosférico (CRUTZEN, 1970; CICERONE, 1987). Estima-se que o N_2O tenha sido responsável por 5% do efeito estufa total ao longo dos últimos 100 anos (BOWMAN, 1990). Os microrganismos nitrificadores e desnitrificadores são os principais produtores de N_2O nos solos. O N_2O é muito importante em sistemas agropecuários uma vez que 70% das emissões globais desse gás se originam com a dinâmica de N do solo em sistemas de produção, principalmente pela adição de fertilizantes nitrogenados e resíduos agrícolas (MOSIER et al., 2004). A emissão de N_2O em sistemas de produção animal ocorre pela deposição de urina e fezes dos animais, com destaque para os bovinos, e pela adubação de pastagens, e em menor escala pelo manejo dos dejetos. (GRANLI & BOCKMAN, 1994; VERBURG et al., 2006).

FIRESTONE & DAVIDSON (1989) desenvolveram um modelo conceitual que envolve as muitas variáveis do solo, com diferentes níveis de regulação, conhecido como “hole-in-the-pipe” (HIP). Enquanto a maioria dos estudos feitos analisa somente o N_2O e/ou óxido nítrico (NO), o modelo analisa os dois gases pelos processos comuns de produção e consumo microbiológico. O modelo descreve a emissão de N_2O e NO como sendo regulada em dois níveis (Figura 1). Num primeiro momento, a quantidade de fluido que passa pelo tubo é análoga à taxa de ciclagem de N em geral, ou especificamente às taxas de oxidação de NH_4^+ por bactérias nitrificantes (*Nitrossomonas* e *Nitrobacter*) e redução de NO_3^- por bactérias desnitrificantes (*Pseudomonas* por ex.). Num segundo nível, a quantidade de N que “vaza” para fora do tubo corresponde aos óxidos gasosos de N (por um “buraco” como NO, e por outro, como N_2O), e é determinada por várias propriedades de solo.

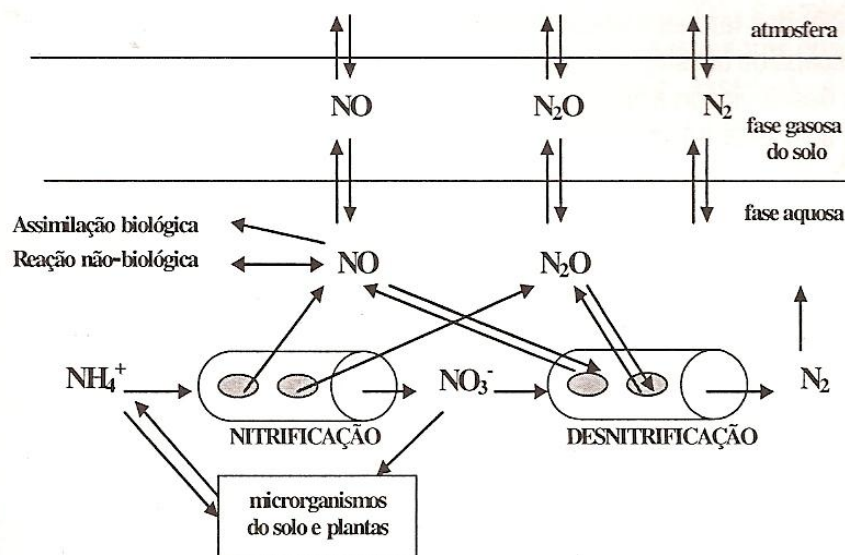


Figura 1 Modelo conceitual “hole-in-the-pipe” (adaptado de FIRESTONE & DAVIDSON, 1989).

Pesquisas realizadas nas últimas décadas têm identificado que o nitrato e o amônio existentes no solo, o tipo e porosidade do solo, a temperatura, a umidade, pH e a disponibilidade de C lábil são controladores da produção de N_2O no solo (KLEIN et al., 2010).

2.5. Pastagens e mitigação das emissões derivadas da pecuária

Segundo o Censo Agropecuário 2006, feito pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, as pastagens plantadas representaram 63,9% (101,4 milhões de hectares) da área total de pastagens, e os produtores declararam que quase 10,0% delas encontravam-se degradadas. As pastagens naturais ocupavam 57,3 milhões de hectares. Somadas, as áreas de pastagens, representavam 48,1% do total da área dos estabelecimentos agropecuários, sendo o principal uso da terra apontado pela pesquisa (IBGE, 2006).

As áreas de pastagens no Brasil evoluíram significativamente com a introdução dos capins do gênero *Brachiaria* e seus cultivares, que se adaptaram as condições edafoclimáticas dos trópicos, sendo predominante nas pastagens existentes e em formação (BODDEY et al., 2003). Apesar de serem a base da alimentação animal na pecuária nacional, as pastagens tem apresentado rápido e acentuado declínio em sua capacidade produtiva em decorrência dos processos de degradação, limitando e inviabilizando a produção de carne e/ou leite em muitas regiões do país PERON & EVANGELISTA (2004).

Um relatório da Organização para Agricultura e Alimentação (FAO –Food and Agricultural Organization) das Nações Unidas, intitulado *Livestock's long shadow* (STEINFELD et al., 2006), relata que a produção pecuária mundial produz mais CO₂ (ou equivalente) do que todo o sistema de transporte no mundo, quando se considera o desmatamento e a queimada de florestas, a produção de metano pela fermentação ruminal e a produção de metano pela fermentação de dejetos.

A pecuária bovina no Brasil é quase toda baseada no uso de pastagens, o que lhe confere vantagens, como o baixo custo de produção e a capacidade de oferecer melhores condições de sanidade e conforto animal. Ao contrário do que se pensava até recentemente, a intensificação do uso das pastagens pode contribuir para a remoção do CO₂ atmosférico, e mitigar o efeito estufa e suas consequências ao meio ambiente em razão do aquecimento global (BRAGA, 2008).

Em relação ao sequestro de C no solo, CARVALHO (2009) encontrou acúmulo no solo de 0,46 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, no caso de uma pastagem não degradada e sem restrições quanto à fertilidade. Já em uma pastagem implantada em solo de baixa fertilidade, houve emissão de C para atmosfera, com taxas de perda variando de 0,15 a 1,53 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente para pastagem não degradada e degradada. O autor ainda afirma que a magnitude das perdas depende do grau de degradação da pastagem.

CONANT et al., (2001) revisaram cerca de 115 estudos em 17 países sobre os efeitos do manejo da pastagem sobre a matéria orgânica do solo. Identificaram que a fertilização da pastagem, o manejo animal adequado, o uso de espécies produtivas, a conversão de cultivos agrícolas em pastagens permanentes, a presença de leguminosas, e o uso de irrigação aumentaram o sequestro de C no solo. As taxas médias de sequestro de C nesses estudos variaram de -0,2 a +3,0 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹.

Estudos conduzidos na Europa demonstraram que os aumentos nas emissões de óxido nitroso e metano pelo uso de N para sustentar maior taxa de lotação de bovinos foram compensados pelo grande influxo de carbono atmosférico para o solo, configurando essas áreas de pastagens como prováveis mitigadoras do efeito estufa (SOUSSANA et al., 2007). Em 2010, SOUSSANA e seus colaboradores apresentaram novas evidências do acúmulo de carbono em solos com pastagens. Entretanto, POWLSON et al., (2011) realizaram uma análise crítica do potencial de sequestro de carbono pelo solo e apresentaram os seguintes argumentos que limitam o potencial mitigador do solo: A quantidade de C estocada no solo é finita, o processo é reversível e o ganho no C-orgânico do solo pode provocar mudanças nos fluxos de outros gases de efeito estufa, especialmente N₂O e CH₄.

FOLLET & SCHUMAN (2005), considerando uma relação linear entre produção de carne por área (bovina, ovina, caprina e bubalina) e uso de N em áreas agricultáveis, constataram que o aumento da produção de carne por área está associado a um maior sequestro de C até um ponto de saturação onde o aumento da produtividade já não mais influencia o sequestro de C no solo. Dessa maneira, puderam identificar regiões do globo onde existem os maiores potenciais para utilização de uma pecuária intensiva que aumente produtividade e consequentemente o sequestro de C no solo.

Uma vez que estudos verificaram o potencial das pastagens cultivadas para sequestrar CO₂ atmosférico (SOUSSANA et al., 2007; 2010), o governo brasileiro através do Ministério da Agricultura propôs ações de mitigação (Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas - Namas) das emissões principalmente através da recuperação de pastagens degradadas e adoção da integração lavoura-pecuária.

Quanto às práticas de alimentação, o uso de concentrados geralmente aumenta a emissão de CH₄ por unidade animal, mas também aumenta a produção de leite e carne, e o resultado final é uma redução total das emissões de CH₄ por unidade de produto (kg leite ou de carne) (IPCC, 2007b). PEDREIRA et al., (2009) mostraram que, com a mesma dieta e manejo, as emissões por vacas da raça Holandesa foram maiores do que pelas vacas leiteiras mestiças, mas concluiu que vacas da raça Holandesa podem diluir as emissões de CH₄ por kg de leite devido a sua maior produção de leite. O efeito ambiental é observado na prática, a exemplo do que ocorreu com os Estados Unidos, que em 1944 possuía 25,6 milhões de vacas leiteiras produzindo 53,0 bilhões de quilos de leite, e em 2007 tinha 9,2 milhões de vacas produzindo 84,2 bilhões de quilos de leite (CAPPER et al., 2009). Se a produtividade estivesse permanecido a mesma em 2007 seriam necessárias 43,7 milhões de vacas ordenhadas para produzir o que apenas 9,2 milhões de vacas produziram. Uma diferença de aproximadamente 33 milhões de cabeças, o que representa uma grande diferença para o meio ambiente. DEMARCHI et al. (2003) afirmaram que uma diminuição na idade média de abate de novilhos da raça Nelore no Brasil diminuiria as emissões totais de CH₄ em 10% para o sistema de produção de gado de corte do Brasil.

A pecuária tecnicamente conduzida apresenta potencial de mitigar as emissões de GEE. O N, por exemplo, é um elemento que limita a produtividade da pastagem (BODDEY et al., 2004), e a adição de fertilizantes nitrogenados contornariam esse problema e elevariam a produtividade (De OLIVEIRA et al., 2004). No entanto, a maior adição de fertilizantes aumenta as emissões de N₂O, e o mesmo poderia acontecer com o uso de leguminosas em pastagens, porém esta última opção tem demonstrado quase que invariavelmente aumentos no carbono orgânico no solo, quando comparado com a pastagem exclusiva de gramíneas (TARRÉ et al., 2001).

2.6. Os modelos de simulação

Os modelos de simulação são um meio de investigar as emissões de gases de efeito estufa e seus efeitos sobre os ecossistemas terrestres. Os modelos de simulação permitem integrar os diferentes processos envolvidos na complexa dinâmica das emissões de GEE, e são ferramentas essenciais para estimar mudanças climáticas, para testar cenários específicos e para desenvolver estratégias que mitiguem os efeitos dessas mudanças.

O uso de cenários é um instrumento apropriado para comparar eventos recíprocos essencialmente incertos e com alta variabilidade, possibilitando avaliar possíveis situações passadas ou futuras (TORQUIST, 2007). Assim, cenários não são previsões propriamente ditas, mas delimitações das incertezas inerentes ao que se presume como provável (VERBUG et al., 2006). KAHN & WIENER (1967) definiram o termo como “uma sequência hipotética de eventos construídos para focalização de causalidade e derivação de decisões”. Os cenários

são ficcionais por natureza, descrevendo situações, ações e suas consequências, contendo premissas implícitas para descrever o que poderia acontecer (cenários prospectivos ou preditivos) ou o que teria acontecido (cenários retrospectivos ou históricos).

2.7. Caracterização do Brasil Central e seus sistemas de produção de bovinos de corte

O Brasil central é constituído basicamente pelo Cerrado, que corresponde 204,7 milhões de hectares (IBGE, 2004) na porção central do Brasil e engloba parte dos estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo e Tocantins, além do Distrito Federal. Grande parte do Cerrado é usada em extensos plantios de soja, milho, feijão, algodão, café e cana-de-açúcar, sendo que do total da área, 54 milhões de ha se encontram com pastagens e 21,6 milhões, com cultura agrícola (SANO et al., 2008). Podem ser considerados fontes ou drenos de C atmosférico, dependendo do uso e do manejo aplicado ao solo e aos rebanhos.

O clima é semelhante ao da maioria das savanas do mundo, ou seja, tropical com uma estação de inverno seco – megatérmico. As chuvas se concentram nas estações primavera e verão (outubro a março), quando 90% do total de 800 a 2000 mm são precipitados. Durante o outono e inverno (abril a setembro), ocorre uma estação seca. A temperatura média anual varia entre 18 e 28 °C (INMET, 2009).

Os solos dominantes são os Latossolos (Vermelhos e Vermelho-Amarelos), Neossolos Quartzarênicos e algumas áreas de Cambissolos e Nitossolos, sendo que as demais ordens apresentam baixa ocorrência. Os Latossolos ocupam aproximadamente 46% do bioma e são caracterizados basicamente pela alta intemperização do material de origem, profundidade e boa drenagem. Possuem baixa fertilidade natural e teor de argila variando de 15 a 90%. Os Neossolos Quartzarênicos possuem no máximo 15% de argila, sendo muito porosos e excessivamente drenados. Devido à elevada intemperização, os solos do Cerrado possuem baixa fertilidade natural (fração argila composto-se de caulinita, goetita ou gibsitita) e pH ácido (variando de 4,3 a 6,2), elevado conteúdo de alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes. Porém, a limitação para cultivo, devido à baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e pouca retenção de água, pode ser contornada com o uso de corretivos, fertilizantes minerais e aumento da matéria orgânica (KLUTHCOUSKI et al., 2003).

O relevo é em geral bastante plano ou suavemente ondulado, estendendo-se por imensos planaltos ou chapadões. Cerca de 50% de sua área situa-se em altitudes entre 300 e 600 m acima do nível do mar (REATTO et al., 1998).

As áreas de Cerrado contribuem com cerca de 53% da produção nacional de grãos (soja, de milho, de arroz e de feijão) e conta com aproximadamente 100 milhões de cabeças do rebanho bovino do País (IBGE, 2011). Por outro lado, práticas agrícolas e pecuárias inadequadas têm influenciado diretamente na redução da fertilidade do solo, estoques de carbono, aumento da erosão, degradação de pastagens e, conseqüentemente, no aumento dos custos de produção e impactos negativos sobre o ambiente.

FERRAZ & FELÍCIO (2010) caracterizaram os diferentes sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil. Segundo os autores diferentes sistemas de produção tem se desenvolvido em função das diferentes características ambientais, disponibilidade de tecnologia e recursos. Os sistemas extensivos existem em todas as regiões do país e quase todos possuem sistemas de produção de cria (vaca matriz e crias), sendo poucos aqueles que se dedicam apenas a engorda. As limitações pela acidez e baixa fertilidade levaram à disseminação de espécies forrageiras como *Brachiaria* spp. e *Panicum* spp. (originários da África), que apresentaram boa produção e adaptação às condições brasileiras. As forrageiras tropicais apresentam estacionalidade da produção, sendo a produtividade e qualidade muito

diminuídas na estação seca, e a suplementação mineral é necessária. Em algumas áreas, especialmente de pequenos produtores, não se faz a suplementação mineral, ou quando é feita, as quantidades fornecidas são inferiores à necessária.

Em grande parte das propriedades, o ciclo completo de produção é realizado somente em pastos. Durante as flutuações de disponibilidade e qualidade da pastagem, os animais perdem peso no período seco. No Brasil central, com o início do período chuvoso em setembro/outubro, alguns produtores utilizam um período para sincronização da cobertura das fêmeas matrizes denominado estação de monta, que geralmente se inicia em novembro/dezembro e termina em fevereiro. Os bezerros são desmamados em maio/junho. Nos melhores sistemas, no mínimo 50% dos animais são terminados com 24 a 30 meses de idade (cruzados) e nos demais com 36 a 42 meses. (FERRAZ & FELÍCIO, 2010)

Outras regiões como no Sul do Brasil, as características dos sistemas de produção são diferentes das do Cerrado, o comum é se utilizar pastagens nativas de baixas produtividades. Alguns produtores cultivam forrageiras de inverno em rotação com as culturas de verão e obtém forrageiras de alta qualidade que são usadas para terminar os animais (com alta percentagem de *Bos taurus* na composição genética).

FRIES & FERRAZ (2006) afirmam que o agronegócio de carne no Brasil possui dois componentes característicos: o bovino zebu (*Bos indicus*) oriundo do subcontinente Indiano e as pastagens tropicais do continente Africano. Essa interação foi muito positiva em função do clima local, dos solos e do manejo dado a esses componentes. Nos últimos 50 anos a população de bovinos cresceu significativamente tanto em número de animais como em produtividade, embora o país tenha passado por restrições econômicas no período. Esse grande rebanho vem sendo mantido em pastos de braquiárias, com uma lotação de aproximadamente 1 cabeça por ha (BODDEY et al., 2003; IBGE, 2006).

As pastagens tropicais foram introduzidas no Brasil nos anos 60 e 70 do século passado. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária recebeu da Organização para Agricultura e Alimentação, uma grande coleção de germoplasma de forrageiras africanas na década de 70. Um importante trabalho de adaptação destas forrageiras foi realizado, em especial com as do gênero *Brachiaria* para as condições dos Cerrados, e hoje são utilizadas em todo Brasil central e parte da Amazônia legal. Essas forrageiras se adaptaram muito bem a essas áreas, bem como para a alimentação do Nelore, o que tornou a produção nas fazendas do Cerrado e da região norte mais rápida e fácil. Em alguns casos, os bois são vendidos com 2 anos para o abate, mas são sistemas de produção que normalmente requerem mais investimento e manejo, usando minerais e, se necessário, suplementação no período seco.

De acordo com FERRAZ & FRIES (2004) os produtores de bovinos de corte geralmente suplementam os bezerros antes do desmame, e após o desmame procedem a recria a pasto, e em seguida uma das seguintes opções de engorda é realizada:

- 1- Para produção de “superprecoces” - os animais são levados para o confinamento com 240 kg de peso vivo, onde permanecem por aproximadamente 120 dias, quando são abatidos com 420 kg de peso vivo. Os confinamentos utilizam silagem de milho ou sorgo, bagaço de cana e outros produtos da agricultura, como concentrados de farelo de soja e grãos de milho. Animais utilizados nesses sistemas são originários de cruzamentos dirigidos.
- 2- Para produção de “precoces” - os animais permanecem um período de crescimento nas pastagens de melhor qualidade e são abatidos entre 18-24 meses de idade, após um período de confinamento. Tanto animais cruzados quanto animais puros são usados nesses sistemas.
- 3- Para produção em sistemas “a pasto” - os animais são mantidos em pastagens de qualidade variável, sendo abatidos entre 30 e 42 meses, com peso vivo entre 450 e 500

kg. A maioria dos animais são *Bos indicus*, mas bois cruzados também são criados nesse sistema.

O uso de confinamento no Brasil é dependente do mercado de carnes, e em anos e que há menos lucro ocorre redução desse tipo de atividade, que também necessita de um bom controle sanitário, oferta de animais e alimentos com qualidade e regularidade, além de ser atividade de alto risco (ASSOCON, 2012).

CEDERBERG et al., (2009 a) categorizaram os sistemas de produção existentes no País (Tabela 1) com base em dados de vários autores (de MOURA ZANINE et al., 2006; MARTINS CEZAR et al., 2005; ASSOCON, 2008), e encontraram predomínio de sistemas extensivos com baixa lotação animal por hectare.

O Brasil apresenta um grande potencial para incremento de produtividade e quantidade na produção de bovinos de corte. Os baixos índices existentes decorrem da grande quantidade de área disponível. Mesmo com a expansão das lavouras sobre áreas de pastagens ao sul, o rebanho é mantido com a abertura de novas áreas ao norte do País. De acordo com LANDERS (2007), a pecuária está migrando para a região amazônica, em face da ocupação de áreas de pastagens pela cultura da cana de açúcar na região sudeste e mais recentemente em Goiás. O autor afirma que novas áreas são desmatadas para ocupação principalmente pela pecuária, o que não seria necessário se houvesse investimentos para aumentar a produtividade da área disponível como pastagem.

Tabela 1. Panorama dos sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil

	Extensivo				Semi-intensivo			Intensivo
%propriedades	80				15			5
% produção	Sem dados				Sem dados			5
Localização	Todas as regiões				CO, SE (80%), pequenas áreas no S, N e NE.			CO e SE (90%)
Tipo de pastagem	Nativa		Cultivada		Nativa	Cultivada	Suplementação	Misto, confinamento
	Vários ecossistemas; maioria CO, S, N, NO.		Maioria braquiárias e <i>Panicum spp.</i> ; plantada em toda região.		Vários ecossistemas; maioria CO, S, N, NO.	Idem ao sistema extensivo	Creep feeding, sal proteinado e vários concentrados.	Pastagens cultivadas, silagem (60 %) e concentrados (40%).
Produtividade (cabeça ha ⁻¹)	Zona climática							
	Tropical	Subtropical	Tropical	Subtropical	Tropical e subtropical			Tropical e subtropical
	0,1 – 0,3	0,5 - 1	0,5 -2,5	0,5-2,5	2,5-3			4-10
Fases de produção	Cria		Cria, recria e engorda.					Cria, recria e terminação (todas as fases separadas).
Períodos de pastoreio	Todo ano							Todo ano, com suplementação no período seco.

* N norte, NE nordeste, CO centro-oeste, SE sudeste e S sul.

3. MATERIAL EMÉTODOS

3.1. Análise dos gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso da pastagem

A proposta desta análise e do balanço de GEE é de contabilizar as emissões de diferentes gases de estufa para produzir um balanço final das emissões em diferentes cenários de produção de bovinos de corte no Brasil. A metodologia para atingir este objetivo foi baseada no modelo de “Ciclo de Vida” (Life Cycle Analysis) conforme descrito no padrão britânico PAS2050(2008-*Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*). Este padrão é aceito para a contabilidade de GEEs em toda comunidade europeia, e até em muitos outros países, e por isso foi adotado para uso neste projeto. No entanto não foram utilizados os fatores de emissão *standard* descritos no manual desta metodologia que recomenda que fatores locais sejam utilizados, caso sejam disponíveis. Para este estudo, os fatores de emissão utilizados serão descritos a seguir.

A metodologia simplificada tem sido utilizada para estimar a quantidade total de GEE emitida para produzir carne e leite, por exemplo, e a unidade utilizada em diferentes estudos já realizados foi kg de equivalentes de CO₂(CO₂eq) por kg de carcaça equivalente (ex. JOHNSON et al., 2003; CASEY & HOLDEN, 2005; LOVETT et al., 2006; OGINO et al., 2007; KUSTERMAN et al., 2008; STEWART et al., 2009; BEUCHEMIN et al., 2010; CEDERBERG et al., 2011). A metodologia completa apregoa a análise do impacto do consumo de energia, acidificação, destruição do ozônio, eutrofização e o uso de água, o que não era objetivo desta dissertação.

3.2. Cenários prototípicos.

Com o objetivo de englobar os diferentes sistemas de produção de bovinos e as alternativas de mitigação pela alteração na adoção de diferentes tipos de sistemas produtivos, fazendas “hipotéticas” foram definidas, tomando como base os sistemas em ciclo completo (cria, recria e engorda) descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Características dos sistemas de produção prototípicos.

Variável	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Genética dos animais	Sem raça definida	Nelore ou cruza de nelore	Nelores e respectivas cruzas	Nelores e respectivas cruzas
Pastagens	Degradadas	Nominais	Produtivas	Produtivas
Dieta fase Cria	Somente pasto	A pasto. Oferta esporádica de sal mineral no cocho	A pasto . Com suplementação vitamínico-mineral no cocho	A pasto . Com suplementação vitamínico-mineral no cocho
Dieta fase recria	Somente pasto	A pasto. Oferta esporádica de sal mineral no cocho	A pasto . Com suplementação vitamínico-mineral no cocho	A pasto . Com suplementação vitamínico-mineral no cocho
Dieta fase engorda	Somente pasto	A pasto. Oferta esporádica de sal mineral no cocho	A pasto . Com suplementação vitamínico-mineral no cocho	Confinamento – Silagem de milho; concentrado de milho e farelo de soja e mistura vitamínico-mineral,
Manejo	Ausente. Cruzamentos aleatórios. Vacinas obrigatórias	Esporádicos. Vacinação, marcação e desmama.	Estação de monta, vacinação, marcação, desmama e acompanhamento do parto	Estação de monta, vacinação, marcação, desmama e acompanhamento do parto.
Controle Zootécnico	Ausente	Esporádico	Presente. Animais identificados, data dos partos, pesos ao desmame, ganho de peso e outras ocorrências são registradas.	Presente. Animais identificados, data dos partos, pesos ao desmame, ganho de peso e outras ocorrências são registradas.
Lotação Animal	0,5 UA/ha	1,0 UA/ha	1,7 UA/ha	2,2 UA/ha

Maia et al (2009) definiu as pastagens degradadas como aquelas que não recebem manejo, estão infestadas de plantas invasoras, o solo pode apresentar erosão e a produtividade animal é prejudicada. As nominais são aquelas que recebem algum manejo, mantém certa produtividade, mas não o suficiente para propiciar a melhor produtividade animal. As produtivas por sua vez recebem manejo contra plantas invasoras, corretivos e adubação, às vezes irrigação, associação com leguminosas e são plantadas variedades mais produtivas de forrageiras. Neste estudo, consideraram-se pastagens de braquiárias, porém no terceiro e quarto cenários incluem-se as cultivares mais produtivas, como Marandu e Xaraés.

Para cada uma das fazendas hipotéticas, foram atribuídos índices zootécnicos típicos para os sistemas produtivos simulados (Tabela 3). Esses índices permitiram calcular a produtividade das fazendas prototípicas.

Tabela 3 Características do rebanho (GOUVELLO et al, 2010; com adaptações)

Digestibilidade média da dieta em percentual ao longo do ano em cada fase				
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Dietados adultos	55	60	60	60
Dieta cria	58	62	62	62
Dieta recria	58	60	60	62
Dieta engorda	58	60	65	74
Características das vacas				
Produção de leite (kg)	1100	1400	1400	1400
Período de lactação (meses)	7	7	7	7
Idade ao 1º parto (meses)	36	30	30	30
Taxa de natalidade (%)	55	60	75	75
Taxa de descarte de vacas (%)	15	15	15	15
Relação touro/fêmea	1/25	1/25	1/25	1/25
Mortalidade dos animais do rebanho				
Mortalidade até 1 ano (%)	7	5	5	5
Mortalidade 1 a 2 anos (%)	2	2	2	2
Mortalidade 2 a 3 anos (%)	2	1	1	1
Mortalidade acima de 3 anos (%)	1	1	1	1
Características da carcaça				
Peso carcaça macho (kg)	230	240	250	265
Peso carcaça fêmea (kg)	200	210	220	235
Rendimento carcaça machos (%)	50	51	52	54
Rendimento carcaça fêmeas (%)	48	50	50	52

Peso dos animais				
Peso vacas adultas (kg)	430	430	430	430
Peso do touro (kg)	650	650	650	650
Peso ao nascer (kg)	30	32	35	35
Peso à desmama (kg)	160	170	185	185
Peso início engorda (kg)	380	380	380	380
Ganho de peso na recria (kg/dia)	0,25	0,30	0,40	0,60
Ganho de peso na engorda (kg/dia)	0,40	0,60	0,65	1,20

3.3. Categorias de animais

Sabe-se que as características dos animais são heterogêneas no rebanho. Por isso, é boa prática categorizar o rebanho, e calcular emissões para cada uma das categorias (IPCC, 2006).

No modelo elaborado para o presente estudo, o rebanho foi dividido em 9 categorias de animais (Tabela 4) para o cálculo de emissões de metano e óxido nitroso.

Tabela 4. Categorias de bovinos de corte classificados em função do peso (em quilogramas) - Peso mínimo de entrada da categoria e peso máximo. Para as categorias touro e vaca presumiu-se peso constante.

Categoria	Peso mínimo	Peso máximo
Touro	650	
Vaca	430	
Bezerra	30	160
Bezerra sobreano	160	360
Novilha	360	420
Bezerro	35	185
Garrote	185	380
Boi magro*	280	380
Boi gordo	380	460

*Categoria presente no cenário 1.

3.4. Composição do rebanho

A composição do rebanho, ou seja, a proporção do número de animais em cada categoria é calculada a partir dos índices zootécnicos do sistema produtivo simulado. No presente estudo foram utilizadas as equações propostas por GOUVELLO et al., (2010) em que a proporção de animais com o rebanho em equilíbrio dinâmico é calculada pelas Equações 1 a 7, com base nos índices de desempenho zootécnico atribuídos ao sistema produtivo.

O número de nascimentos é calculado pelas Equações 1 e 2, em função do número de vacas, da taxa de natalidade e mortalidade das novilhas em crescimento.

$$N = F0 * \alpha * (1 + \omega p * \alpha / 2) \quad (1)$$

$$\Omega = \pi_i (1 - ((\omega_i t (F_i)) / 12), t (F_i) >, i = 1 \dots 3 \quad (2)$$

Onde N é o número de nascimentos; F0 é o número de fêmeas no rebanho; α é a taxa de natalidade (adimensional); ωp é a taxa de mortalidade até o primeiro parto (adimensional); ω_i é a mortalidade de cada categoria, para bezerras e novilhas (adimensional); e $t(F_i)$ é o tempo de permanência dos animais na categoria até o primeiro parto (meses).

O tempo de permanência na categoria é calculado distintamente para machos e fêmeas pelas Equações 3 e 4.

$$T (M_i) = \max (lx (M_i) - \beta a, 12) \quad (3)$$

$$T (F_i) = \max (lx (F_i) - \beta p, 12) \quad (4)$$

Onde lx é a idade máxima (meses) dos animais em cada categoria e βp e βa são respectivamente, as idades ao primeiro parto e ao abate (meses), definidas para o sistema.

Para o cálculo do número de bezerras e bezerras, assume-se a proporção de 50% para machos e fêmeas e taxa de mortalidades ω_0 ao longo do ano (Equação 5).

$$F_1, M_1 = 0,5 * N * (1 - \omega_0 / 2) \quad (5)$$

As quantidades de animais nas categorias em crescimento (F_i, M_i) são calculadas com base na quantidade de animais da categoria de idade imediatamente inferior e do mesmo sexo, e da taxa de mortalidade da categoria (Equações 6 e 7).

$$F_{i+1} = F_i * (1 - \omega_i t (F_i) / 12) \quad (6)$$

$$M_{i+1} = M_i * (1 - \omega_i t (M_i) / 12) \quad (7)$$

Finalmente, o número de touros é calculado com base na relação touro/fêmea (Θ) definida para o sistema em questão, de acordo com a Equação 8.

$$M_0 = FO * (1 + \omega p * \alpha / 2) / \Theta \quad (8)$$

Os números de fêmeas e machos abatidos (AF e AM, respectivamente) são calculados segundo as Equações 9 e 10.

$$AF = F_0 / 2 * (1 - R) * \alpha * (1 + \omega p * \alpha / 2) * \pi_i (1 - \omega_{it} (F_{ia})) \quad (9)$$

$$AM = N / 2 * \pi_i (1 - \omega_{it} (M_{ia})) \quad (10)$$

A produção de carcaça (PC) é então calculada pela Equação 11.

$$PC = AF * CEF * AM * CEM \quad (11)$$

Onde CEF e CEM são, respectivamente, o peso de carcaça no abate de fêmeas e machos.

Considerando um rebanho estável composto por 100 fêmeas e aplicando-se os índices zootécnicos de todos os sistemas produtivos, obtém-se a composição do rebanho descrita na Tabela 5.

Tabela 5 Número de animais por categoria que compõem o rebanho em função do cenário simulado.

Categoria	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Touros	4	4	4	4
Fêmeas	100	100	100	100
Bezerros	27	30	38	38
Bezerras	27	30	37	38
Sobreano fêmea	25	29	36	36
Sobreano macho	25	28	36	36
Novilho	25	28	35	35
Novilha	24	28	35	35
Novilho 3-4 anos	24	-	-	-
Novilha 3-4 anos	24	-	-	-
Total	305	277	321	321

O tempo de permanência em cada categoria (dias) e tempo (meses) para atingir o peso de abate é apresentado abaixo. O tempo de permanência da categoria vaca e touro é igual a 365 dias. No presente estudo, consideraram-se a contribuição anual de todas as categorias para as emissões totais de GEE (Tabela 6).

Tabela 6. Tempo de permanência (dias) em cada categoria de bovinos de corte para cada cenário de intensificação de produção.

Categoria	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Touro	365	365	365	365
Fêmeas	365	365	365	365
Bezerros	210	210	210	210
Bezerras	210	210	210	210
Bezerra sobreano	420	650	488	335
Garrote	420	650	488	325
Novilho	420	100	92	≈ 60
Novilha	420	132	123	≈ 60
Boi magro 3-4 anos	100	-	-	-
Novilha 3-4 anos	132	-	-	-
Tempo total até o abate (meses)	48	36	34	20

A produção de carne por cada cenário simulado foi obtida aplicando-se a Equação 11, em que as quantidades de machos, fêmeas e vacas abatidas durante o ano são multiplicadas pelos respectivos pesos de carcaça e somados entre si. A área útil necessária para cada rebanho foi obtida através da divisão do total de unidade animais de cada rebanho pela lotação animal média, ajustada para o período de menor oferta de forragem do ano (Tabela 7).

Tabela 7. Animais abatidos e produção total de carne por ano (quilos de carcaça equivalente), área equivalente de cada rebanho (hectares) e lotação animal (UA* por hectare) em cada cenário simulado.

Animais abatidos	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Bois	24	28	35	35
Novilhas	6	11	19	19
Vacas descarte	12	13	14	14
Total	42	52	68	68
Produção de carcaça (kg)	9.300	11.825	16.035	16.750
Área útil necessária para cada cenário				
UA* total do rebanho	204	190,5	212,2	212,2
Lotação animal (UA/ha)	0,5	1,0	1,7	2,2
Área útil (ha) [#]	408	190,5	125	96,5

* 1 UA equivale a 450 kg de peso vivo. [#] Entende-se por área útil aquela que é utilizada para a produção dos bovinos, excetuando-se as protegidas por lei e destinadas a outras atividades.

3.5. Cálculo das emissões de CH₄ segundo o nível de detalhamento 2 (Tier 2) do IPCC

A equação do IPCC (2006) Tier 2, organizada por LIMA et al. (2010), foi utilizada para obter os fatores de emissão de CH₄ entéricos por cada categoria animal.

$$GE_i = GE_i \times Y_m \times 365 \text{ dias/ano} / 55,65 \text{ MJ/kg CH}_4 \text{ (kg CH}_4\text{/cabeça/ano)}$$

Onde, GE_i é a ingestão de energia bruta (MJ/cabeça/dia); e Y_m é a fração da energia bruta usada na conversão de metano (0,06).

A ingestão de energia bruta GE pode ser avaliada pela seguinte equação:

$$GE = [(NEm + NEf + NEl + NEd + NEp) / RND + NEg / RNDg] \times 100/DE$$

Onde, NEm é a energia líquida necessária para a manutenção (MJ/cabeça/dia); NEf é a energia líquida necessária para a alimentação (MJ/cabeça/dia); NEl é a energia líquida necessária para a lactação (MJ/cabeça/dia); NEd é a energia líquida necessária para o trabalho (MJ/cabeça/dia); NEp é a energia líquida necessária para a gestação (MJ/cabeça/dia); NEg é a energia líquida necessária para o crescimento (MJ/cabeça/dia); RND é a razão da energia líquida, consumida para manutenção, lactação, trabalho e gestação, para a energia - digestível

consumida; RNDg é a razão entre a energia líquida consumida para o crescimento e a correspondente energia digestível consumida; e DE é a digestibilidade (%).

A energia líquida requerida para manutenção NEm é avaliada pelas seguintes equações:

$$NEm = 0,335 \times W^{0,75} \text{ (para o gado de leite) (MJ/cabeça/dia)}$$

$$NEm = 0,322 \times W^{0,75} \text{ (para os demais bovinos) (MJ/cabeça/dia)}$$

Onde, W é o peso do animal.

A energia líquida necessária para a alimentação NEf é avaliada como uma fração da energia requerida para a manutenção:

$$NEf = 0,17 \times NEm \text{ (para o gado de leite) (MJ/cabeça/dia)}$$

$$NEf = 0,37 \times NEm \text{ (para os demais bovinos) (MJ/cabeça/dia)}$$

A energia líquida necessária para a lactação NEl foi utilizada apenas para fêmeas pela seguinte equação:

$$NEl = MP \times (1,47 + 0,40 \times MF) \text{ (MJ/cabeça/dia)}$$

Onde, MP é a produção de leite (kg/cabeça/dia) e MF é o conteúdo de gordura do leite (%).

A energia líquida necessária para a gestação NEp é avaliada apenas para fêmeas, como uma fração da energia líquida necessária para a manutenção, pela seguinte equação:

$$NEp = 0,075 \times NEm \times PR / 100$$

Onde, PR é a taxa de prenhez (%).

A energia líquida empregada em trabalho (tração animal) é dada pela equação:

$$NEd = 0,10 \times (NEm \times H) \text{ (MJ/cabeça/dia)}$$

Onde, H é o número de horas trabalhadas por dia.

O valor para H foi estimado em zero, por os animais dos cenários propostos não serem destinados ao trabalho.

A energia líquida necessária para o crescimento NEg é calculada apenas para os bovinos jovens, pela seguinte equação:

$$NEg = 4,18 \times [(0,035 \times (W)^{0,75} \times (WG)^{1,119}) + WG]$$

Onde, WG é o ganho de peso do animal jovem (kg/cabeça/dia).

Conforme o Guia de inventário 2006, os valores de RND e RNDg podem ser obtidos pelas seguintes equações:

$$RND = 0,298 + (0,00335 \times DE)$$

$$RNDg = -0,036 + (0,00535 \times DE)$$

Na Tabela 8 são apresentados os valores da porcentagem de energia bruta que é despedida com a produção de CH₄, encontrados nos estudos nacionais. Uma média que tende a 6,00 %, valor adotado no presente estudo, e também pelo IPCC (2006), pode ser estimada.

Tabela 8.Taxa de conversão de metano (Y_m)* apurada nos respectivos estudos de emissão de CH₄ no Brasil.

Autor	Taxa em %
IPCC (2006)	6,00
Nascimento (2007)	7,54
Nascimento et al. (2007)	6,20
Primavesi et al. (2004a)	8,46
Demarchi et al. (2003a)	6,13
Demarchi et al. (2003b)	5,98
Oliveira et al. (2007)	3,75
Berchielli et al. (2003)	7,30
Pedreira (2004)	6,20
Primavei et al. (2004b)	5,40
Possenti (2006)	5,80
Pedreira et al. (2009)	5,28
Média	6,17 ± 0,36
Adotado para o modelo	6,00

* Equivale à fração de energia consumida pelo animal que é transformada em metano. Quanto melhor a qualidade da dieta menor a taxa.

As digestibilidades das dietas utilizadas em sistemas de produção de bovinos de corte variaram entre 53 e 72% para diversos estudos feitos no País (Tabela 9). No presente estudo, utilizaram-se diferentes digestibilidades (Tabela 3) tendo em vista as peculiaridades dos alimentos oferecidos aos animais em cada fase e sistema de produção.

Tabela 9.Digestibilidades da dieta utilizadas em estudos sobre emissão de CH₄ entérico no Brasil.

Dieta	Digestibilidade (%)	Autor
<i>Brachiaria spp.</i>	55	Lima et al. (2010)
Silagem de sorgo	71,1	Oliveira et al. (2007a)
Silagem + concentrado	53,7	Oliveira et al. (2007b)
Tifton	55,2	Rivera et al. (2010)
Feno de <i>Brachiaria spp.</i>	63	Nascimento (2007)
Silagem de sorgo	54	Berchielli et al. (2003)
Silagem de sorgo + concentrado	58	Pedreira (2004)
Silagem de sorgo + concentrado	64	Primavesi et al. (2004b)
Feno de Coast Cross	63	Possenti (2006)
Cana picada	55	Pedreira et al. (2009)
Cana + concentrado	64	Pedreira et al. (2009)
Média	59,6 ± 11	

Na Tabela 10, são apresentados os valores de taxa de prenhez encontrados em diferentes estudos nacionais para bovinos de corte. A média tende a 60%. Para as simulações, foram adotadas taxas entre 55 e 60% para sistemas menos produtivos, e de 75% para os

sistemas de alta produtividade. Observa-se que os melhores valores encontrados na literatura se situam próximos a 75%.

Tabela 10 Fração de vacas que parem durante o ano (taxa de prenhez) apurado em estudos nacionais com vacas de corte.

Autor	Taxa de Prenhez %
Oliveira (2007c)	72,8
Singh et al. (1998)	60,5
Soto Bellosio et al. (2006)	61,0
Frisch & O'Neill (1996a)	53,3
Frisch & O'Neill (1996b)	51,3
Singh et al. (1988)	48,6
Frisch & O'Neill (1996c)	71,4
Costa (2006)	80,0
Silva (2003)	69,4
Montanholiet al. (2004)	47,0
Lopes et al. (2008)	36,2
Reinher (2007)	82,0
Kunkle et al. (1994)	76,3
Grecell et al. (2006)	43,2
Ereno et al. (2007)	51,0
Machado et al. (2008)	73,5
Média	61,0± 4,42

As produtividades de leite pelas vacas de corte brasileiras apresentam uma peculiaridade em função de cruzamentos aleatórios com animais de produção leiteira. Assim para o presente estudo foram adotados valores inferiores à média nacional no cenário de baixa produtividade, e valores próximos as melhores produtividades de leite para vacas de corte encontradas na literatura para o cenário mais intensivo. Na Tabela 11, é apresentado um levantamento de dados da literatura sobre produção de leite por vacas de corte.

Tabela 11. Produção de leite diária (quilos) por vacas de corte, e respectivos estado onde o estudo foi realizado.

Estado	Produção kg de leite	Autor
Rio Grande do Sul	4,38	Restle et al. (2003)
Rio Grande do Sul	4,00	Senna (1996)
Rio Grande do Sul	3,35	Ribeiro (1989)
Rio Grande do Sul	4,47	Cruz et al. (1997)
Rio Grande do Sul	3,05	Albuquerque et al. (1993)
Rio Grande do Sul	4,4	Marshall et al. (1976)
Rio Grande do Sul	3,4	Ribeiro et al. (1991)
Rio Grande do Sul	4,15	Senna (1996)
Rio Grande do Sul	4,4	Ribeiro & Restle (1991)
Rio Grande do Sul	5,00	Silva et al. (1995)
Paraíba	6,70	Moura (2005)
Paraíba	9,50	Teodoro et al. (1994)
Paraíba	5,50	Ledic et al. (1989)
Paraíba	8,45	Queiroz (1996)
Paraíba	9,21	Moura (2002)

São Paulo	3,80	Espasadin (2001)
Minas Gerais	21,33	Moreira et al. (2001)
São Paulo	3,55	Cerdótes et al. (2004)
Minas Gerais	4,77	Peixoto (2004)
Tabela 11. Continuação.		
Minas Gerais	4,05	Alencar et al, 1988
Minas Gerais	8,8	Melton et al, 1967
Minas Gerais	3,55	Cerdótes, 2003
Minas Gerais	4,97	Peixoto, 2004
Rio de Janeiro	5,87	Oliveira et al, 2007
Média	5,9± 0,6	

A revisão de artigos com dados de teor de gordura no leite de vacas de corte permitiu estimar uma média próxima a 4,0% (Tabela 12). Esse teor varia em função da alimentação e consumo de água e sal mineral, por exemplo, apresentando, portanto alta variabilidade ao longo do ano.

Tabela 12. Fração de gordura no leite de vacas de corte, estimada de diferentes estudos nacionais.

Autor	Teor médio de gordura no leite %
Restle et al., (2003)	4,64
Cruz et al., (1997)	3,67
Ribeiro et al., (1991)	3,55
Senna (1996)	3,05
Ribeiro (1989)	3,30
Silva et al., (1995)	4,50
Moreira et al., (2001)	3,95
Peixoto (2004)	2,93
Média	3,70± 0,07

3.6. Cálculo da emissão de metano e óxido nítrico por fezes de bovinos depositadas diretamente no solo de pastagem.

Poucos estudos são disponíveis na literatura sobre as emissões de CH₄ e N₂O de fezes de bovinos, muito menos se sabe o comportamento em solos de regiões tropicais. Assim, dois estudos foram realizados para quantificar a emissão de CH₄ e N₂O por deposição de fezes em pastagens, sendo o último somente com emissão de N₂O por deposição de urina. A metodologia utilizada e os resultados são apresentados na metodologia, e também a decisão pelos fatores utilizados para quantificação da emissão de cada categoria animal.

3.6.1. Descrição da área dos estudos

Os experimentos foram conduzidos no Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia, situado em Seropédica-RJ (22°46'S e 43°41'O). O clima da região é tropical, com verões úmidos e invernos secos, tendo 33 m de altitude. A temperatura média anual é cerca de 24°C e a precipitação média, de 1.500 mm, sendo os meses de julho e agosto os mais secos. O solo pertence à classe Argissolo Vermelho-Amarelo (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos), série Itaguaí.

A área estava ocupada com uma pastagem de capim pangola (*Digitaria decumbens* Stent) havia mais de dez anos, e não era utilizada para pastejo há alguns anos, também sendo mantida sem calagem ou adubação.

3.6.2. Implantação e condução do experimento com fezes bovinas

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com cinco repetições, com os tratamentos 1,2, 1,8 e 2,4 kg de fezes frescas, e solo sem fezes como testemunha. Os tratamentos foram definidos tendo em base o trabalho de CHIAVEGATO (2010) para fins de comparação. As quantidades foram definidas com base nos valores de referência, determinados no trabalho de MATTHEWS& SOLLENBERGER (1996), que estima que a produção de matéria seca de fezes corresponde a 0,5 a 1% do peso vivo de bovino por dia, sendo que um animal adulto defeca 11 a 16 vezes por dia, e cada evento produz de 1,5 a 2,7 kg de fezes frescas.

Na área da pastagem, parcelas experimentais de aproximadamente 1,5 m² foram estabelecidas para receber os tratamentos. No centro de cada parcela, foi colocada uma câmara estática fechada, com dimensões de 40x60 cm, e 15 cm de altura para medição dos fluxos de CH₄ e N₂O (Figura 2).



Figura 2 À esquerda: unidade experimental mostrando a base da câmara estática, onde foi colocada centralmente a excreta de bovinos. Direita: visão parcial do experimento; em destaque as câmaras com as tampas acopladas durante o período de incubação.

As fezes foram coletadas de vacas Girolanda, imediatamente após a excreção, criadas no setor de Bovinocultura de Leite da UFRRJ. Os animais eram alimentados em pastagens mistas de *Brachiaria decumbens* stapf e *Panicum maximum* Jacq. e suplementados durante as ordenhas com torta de cevada e concentrado a base de milho e soja (18-22% PB). Dentro do prazo de 1 hora após a coleta, as fezes foram colocadas no centro de cada câmara, utilizando-se uma fôrma circular de 20 cm de diâmetro. As fezes do tratamento 1,2 kg ficaram com aproximadamente 8 cm de altura, e as demais com 11 a 12 cm.

A temperatura ambiente dentro e fora das câmaras foi aferida diariamente no momento da coleta dos gases, antes do fechamento das câmaras e novamente antes da abertura. A precipitação pluvial diária também foi medida.

As amostragens de gases foram feitas diariamente, sempre às 9 horas da manhã conforme preconizado por ALVES et al., (2012), por 14 dias, quando os fluxos não eram mais diferentes entre tratamentos. As câmaras ficaram fechadas por 30 minutos para a retirada de amostras para quantificação dos gases antes e após esse tempo. Para a coleta de gases foram utilizadas seringas de 60 mL de polipropileno.

3.6.3. Quantificação dos fluxos de metano

As análises de CH₄ foram feitas logo após as amostragens, em cromatógrafo de gás equipado com coluna empacotada com Porapak N e detector de ionização de chama (FID), com injeção manual. Antes de cada bateria de análises, eram injetados padrões com concentrações conhecidas, cujos resultados compunham as curvas analíticas para os cálculos das concentrações de CH₄ de cada amostra. Os padrões utilizados apresentavam 1,49 ppmv, 10 ppmv, 100 ppmv e 1000 ppmv de CH₄ em N₂ como gás de balanço.

Os fluxos de CH₄ (FCH₄) foram calculados pela equação descrita por BARTON et al. (2008) onde $FCH_4 = \delta C / \delta t (V/A) M/V_m$, onde $\delta C / \delta t$ é a mudança de concentração de CH₄ na câmara no intervalo de incubação; V e A são respectivamente o volume da câmara e a área de solo coberta pela câmara; M é o peso molecular de CH₄; e V_m é o volume molar nas Condições Normais de Temperatura e Pressão, corrigido para a temperatura e pressão do interior da câmara no momento de amostragem. A pressão do ar do local de estudo foi estimada usando a equação barométrica que considera a altitude do local. Os fluxos foram expressos em $\mu g \text{ C-CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

3.6.4. Quantificação dos fluxos de óxido nitroso

As análises foram feitas em cromatógrafo de gás no mesmo dia das amostragens, equipado com coluna empacotada de Porapak Q e detector de captura de elétrons (ECD), com injeção manual. Antes de cada bateria de análise, eram injetados padrões com concentrações conhecidas, cujos resultados proporcionam as curvas analíticas para os cálculos das concentrações de N₂O de cada amostra. Os padrões utilizados apresentavam 320 ppbv, 410 ppbv, 801 ppbv e 1280 ppbv de N₂O em N₂ como gás de balanço.

Os fluxos de N₂O (FN₂O) também foram calculados pela equação descrita por BARTON et al., (2008), $FN_2O = \delta C / \delta t (V/A) M/V_m$. Sendo os fluxos expressos em $\mu g \text{ N-N}_2\text{O m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$.

As emissões de CH₄ e N₂O durante os 14 dias de monitoramento dos fluxos foram calculadas para cada parcela pelo somatório dos fluxos de cada gás no período. A emissão de CH₄ ou N₂O atribuída à presença das fezes foi estimada pela subtração da emissão calculada para o tratamento controle (sem fezes).

Utilizando-se o material coletado no experimento paralelo para acompanhar a umidade das fezes, procedeu-se a determinação do teor de nitrogênio nas fezes pelo método de Kjeldhal modificado (SILVA, 2006). O teor de nitrogênio foi utilizado para calcular o fator de emissão (FE) direta de N₂O pelas fezes bovinas depositadas sobre pastagens. O FE foi calculado utilizando a seguinte equação $FE = (N\text{-N}_2\text{O total emitido} - N\text{-N}_2\text{O total emitido pelo controle}) / \text{Total de N aplicado pelas fezes}$ (LESSA, 2011).

3.6.5. Avaliação da umidade e teor de carbono nas fezes

Paralelamente foi feito um monitoramento para determinação dos teores de C e umidade nas fezes durante o período de coleta de gases para que as emissões pudessem ser correlacionadas com estes fatores.

As mesmas quantidades de fezes utilizadas nas câmaras nos quatro tratamentos foram dispostas no pasto adjacente ao experimento. Amostras de fezes foram coletadas com espátulas no primeiro dia de deposição das fezes, e aos 3, 7, 11 e 14 dias de monitoramento.

3.6.6. Quantificação das emissões de N₂O por urina de bovinos em pastos

O experimento também foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia, em área adjacente ao primeiro experimento e, portanto com as mesmas características edafológicas do primeiro experimento.

O delineamento experimental e o tamanho das parcelas também foram idênticos ao experimento com as fezes, porém os tratamentos utilizados foram 1,1,5 e 2 litros de urina por câmara (0,24 m²), e solo sem aplicação de urina como controle. As câmaras estáticas para as medidas dos fluxos de N₂O foram as mesmas do experimento anterior, sendo inseridas 5 cm no solo, 3 dias antes da aplicação da urina, evitando-se assim a influência da perturbação do solo nos fluxos de N₂O.

A urina foi coletada das mesmas vacas Girolanda, da Bovinocultura de Leite da UFRRJ. A urina foi imediatamente transportada para o local do experimento, sendo colocada no centro de cada câmara, simulando uma micção.

A temperatura ambiente dentro e fora das câmaras foi aferida diariamente no momento do fechamento (tempo zero) e no segundo evento de amostragem (tempo 30). A temperatura do solo foi medida a 10 cm de profundidade utilizando termômetros digitais portáteis. A precipitação pluvial diária foi verificada através de pluviôgrafo portátil instalado próximo ao local do experimento e a pressão do ar no local foi calculada utilizando a equação barométrica.

As amostragens de gases foram feitas diariamente, por 30 dias, em seguida por 3 vezes durante a semana até que os valores encontrados entre os tratamentos e o controle não se diferissem entre si, mesmo com eventos de chuva, o que ocorreu após 45 dias de instalação do experimento. As amostragens foram realizadas às 18 h para fins de comparação com experimento semelhante, realizado por LESSA (2011), com amostragem às 9h, sendo ambos os horários adequados para quantificação de fluxos de N₂O com uma única amostragem diária (ALVES et al., 2012). Foram utilizadas seringas de 60 mL de polietileno para coletas.

Imediatamente após as amostragens foi determinada a concentração de N₂O das amostras em um cromatógrafo de gás equipado com coluna empacotada de Porapak Q e detector de captura de elétrons (ECD), com injeção manual. A cada conjunto de análises, eram injetados padrões com concentrações conhecidas, cujos resultados compunham as curvas analíticas para os cálculos das concentrações de N₂O de cada amostra, os padrões utilizados e a equação utilizada para calcular os fluxos de N₂O foram os mesmos utilizados no experimento para avaliar as emissões de N₂O após a deposição de fezes bovinas.

Foi determinado o pH da urina e N-total pelo método Kjeldhal modificado (SILVA, 2006). Os fluxos de N₂O dos tratamentos foram subtraídos pelos fluxos do tratamento controle obtendo-se assim a emissão de N₂O induzida pelo N presente na urina. O teor de nitrogênio foi utilizado para calcular o fator de emissão (FE) direta de N₂O pela urina de bovinos depositada sobre pastagens. O FE foi calculado utilizando a seguinte equação $FE = (N-N_2O \text{ total emitido} - N-N_2O \text{ total emitido pelo controle}) / \text{Total de N aplicado pela urina}$.

3.6.7. Análise estatística

Foram realizadas análises de regressão entre os tratamentos e as emissões acumuladas de CH₄ e N₂O, e também análise de variância e teste de médias dos fatores de emissão. Para verificar a interação da produção desses gases com fatores ambientais e intrínsecos às fezes, foi realizada análise de regressão linear múltipla. Os fluxos de cada um dos gases compuseram a variável resposta, e as variáveis explicativas foram: temperatura do interior da câmara (°C), temperatura (°C) e umidade das fezes (gramas de água por quilograma de matéria úmida; g kg⁻¹) e precipitação pluvial (mm).

No estudo com emissões derivadas da urina as análises estatísticas foram às mesmas aplicadas ao estudo com fezes. Análise de variância, teste de médias e regressão linear múltipla onde os fluxos de N_2O eram a variável dependente e a temperatura e a precipitação eram as variáveis explicativas.

3.6.8. Temperatura ambiente e precipitação pluvial registradas durante o primeiro experimento

A média de temperaturas observadas no tempo zero foi de 26 °C, sendo o menor valor 23,3 °C, e o maior 30,9 °C. A média das temperaturas no momento da coleta foi de 28,9 °C, variando de 24,0 °C a 40,2 °C.

No geral a média de elevação da temperatura no interior da câmara durante o período de incubação se situou em 3°C. A maior variação foi observada no dia quatro (+ 7,8 °C), que é explicada pela presença de nuvens no momento inicial, que se dissiparam, fazendo com que a temperatura no interior da câmara se elevasse (Figura 3).

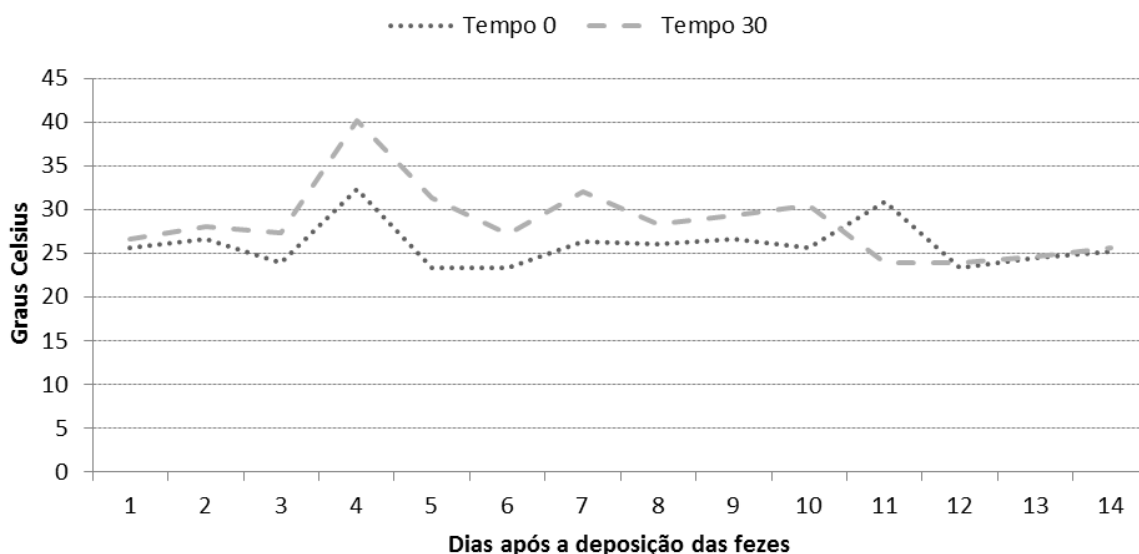


Figura 3 Temperatura no interior da câmara no momento de fechamento das câmaras (Tempo zero) e no momento da coleta de gases (Tempo 30). Seropédica, RJ. 2011

A precipitação pluvial durante o período de coleta de gases ocorreu apenas em três dias; no primeiro, quarto e quinto dias de coleta (Figura 4). Neste período, foram observadas chuvas rápidas na região. As poucas chuvas durante os quinze dias de condução do experimento não permitiu avaliar de forma robusta a influência da chuva nas emissões de GEE; por exemplo, a reidratação das fezes poderia influenciar as emissões segundo LODMAN et al., (1993). Na maioria dos dias de coleta predominou sol forte.

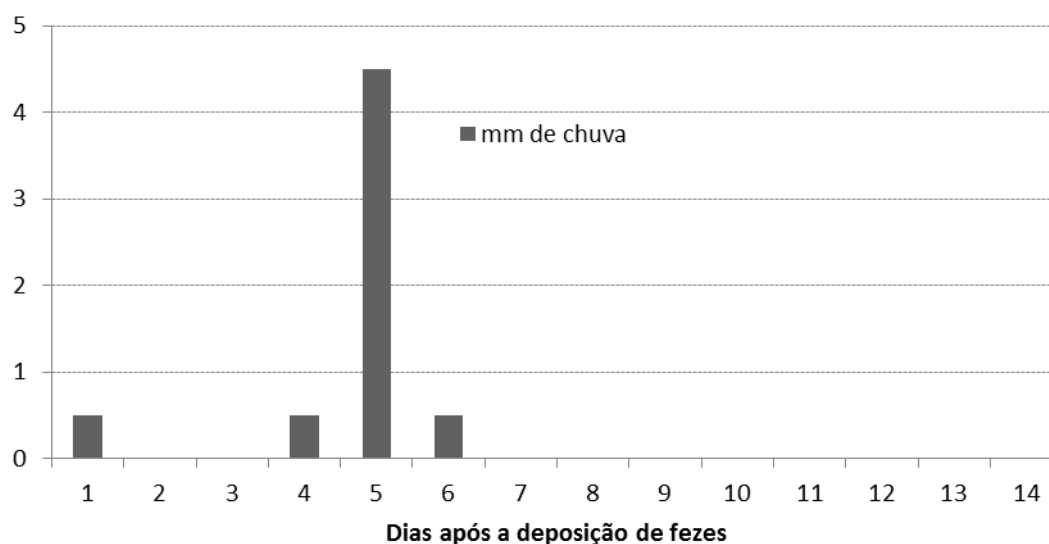


Figura 4 Precipitação pluvial no local do experimento durante a coleta de CH₄ e N₂O (06/04/11 a 20/04/11). Seropédica, RJ.

3.6.9. Fluxo de CH₄ em pastagens em função das fezes

As emissões de metano foram maiores quanto maior foi amassa fresca de fezes (Tabela 13), havendo diferença estatística entre a testemunha (solo sem adição de fezes) e os tratamentos. As emissões de CH₄ pelas fezes de bovinos são explicadas pela dieta do animal, quantidade de fezes excretadas, forma física do bolo fecal (forma, diâmetro), condições ambientais (umidade e temperatura) e período em que o bolo fecal permanece intacto até a decomposição (SAGGAR et al., 2004).

Tabela 13 Emissões de metano acumuladas em 14 dias de avaliação no controle e nos tratamentos (1,2, 1,8 e 2,4 kg de fezes)

Fonte de Variação	Emissão CH ₄ (mg C-CH ₄ m ⁻²)
Solo nu	9,9 5 c
1,2 kg de fezes	282,9 b
1,8 kg de fezes	596,5 a
2,4 kg de fezes	687,6 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($\alpha=0,05$)

Foram observados valores negativos nos fluxos de CH₄ principalmente na testemunha e nos dias finais nos demais tratamentos (Figura 5).

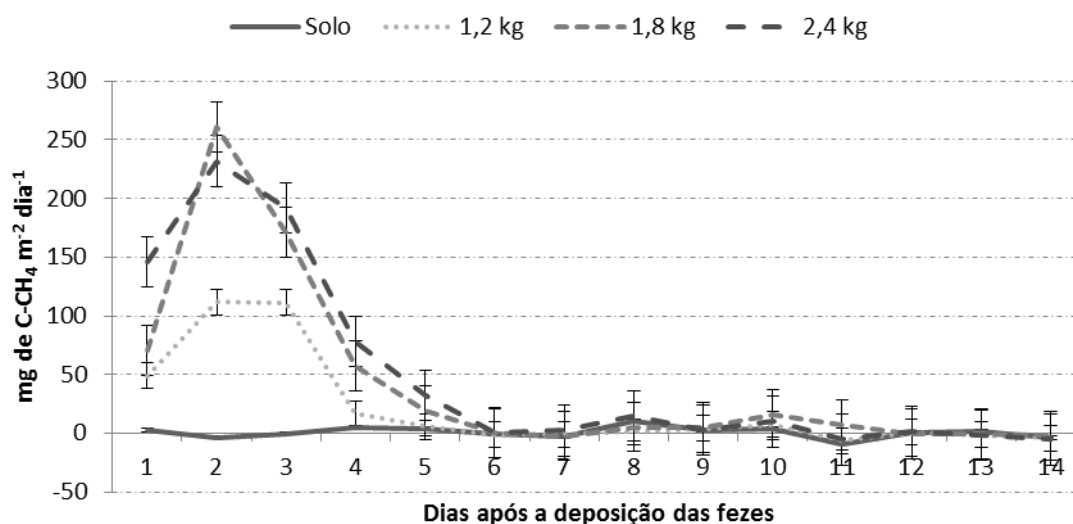


Figura 5 Fluxos diários de metano pelos tratamentos solo, 1,2, 1,8 2,4 kg de fezes e respectivos erros durante 14 dias de avaliação.

A baixa frequência de precipitação e elevada evapotranspiração que provavelmente ocorreu durante o período de avaliação contribuíram para a ocorrência de oxidação de metano (CARDOSO et al, 2001) em alguns momentos, embora as condições de compactação do solo possam ter contribuído para um potencial maior de produção de CH₄ em alguns momentos no tratamento controle. A oxidação de metano em estudos com fezes bovinas também foi observada por CHIAVEGATO (2010) em Rondônia, CHIANESE et al., (2009) no Canadá, BODELIER & LAANBROEK (2004) na França, e MOSIER et al.(1991) nos Estados Unidos. SAGGAR et al., (2004) afirmam que com gradual desaparecimento do bolo fecal, o solo previamente coberto pelas fezes começa a oxidar, o que foi observado em todos os tratamentos nos dias finais de avaliação.

A emissão de metano pelo solo depende de condições de anaerobiose, que ocorrem em função do pisoteio dos animais e aumento da umidade em função da precipitação (CERRI et al., 2009). Quando essas condições não se encontram presentes os solos sob pastagens consomem CH₄. STEUDLER et al., (1996) verificaram que durante a estação seca, o solo consome CH₄ e com o incremento da umidade começa a emitir CH₄. No presente estudo, observou-se um comportamento intermediário com emissão e consumo no tratamento testemunha. No solo com deposição de fezes pode-se inferir que a desidratação das fezes e sua oxigenação possibilitaram o consumo de CH₄ observado nos dias finais.

As doses crescentes de fezes explicaram 29% do incremento nas emissões de CH₄; o baixo coeficiente de determinação ocorreu em função da variabilidade entre repetições (Figura 6). O intervalo de confiança da regressão ressalta esse fato.

O coeficiente angular da equação de regressão (Figura 6) foi significativo a 5% de probabilidade, e indica que cada 1 kg de fezes frescas induz a uma emissão de 272,26 mg C-CH₄ m², com um erro de ± 25 %.

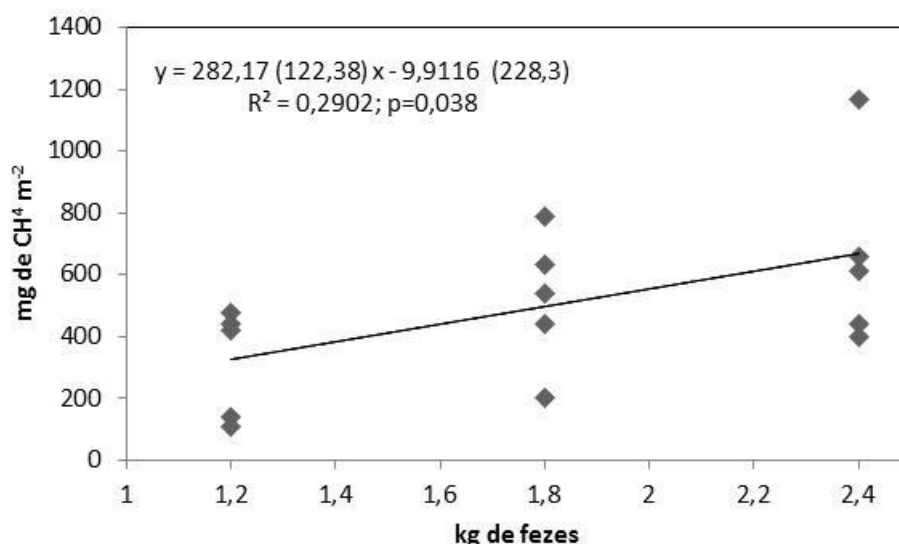


Figura 6. Regressão entre as quantidades de fezes e as respectivas emissões líquidas de CH_4 induzidas pelas mesmas. Os números entre parêntesis representam o erro padrão de cada coeficiente da equação de regressão.

Considerando-se que um bovino segundo MATTHEWS & SOLLEMBERRGER (1996) defeca 1,2 a 2,7 kg de fezes, de 11 a 16 vezes por dia, haveria emissões da ordem de 2,17 a 7,11 kg de CH_4 por animal por ano. Para animais leiteiros, significaria de 3 a 10 % das emissões entéricas considerando o fator de emissão proposto pelo IPCC (2006).

Quando se analisam as emissões dia a dia, o comportamento das emissões dos três tratamentos foi semelhante, aumentando até o terceiro dia e decaindo até o sétimo, quando se igualaram com o controle. O controle apresentou valores próximo ao zero em todos os dias de avaliação, ora apresentando uma pequena oxidação ora emissão de CH_4 (Figura 7).

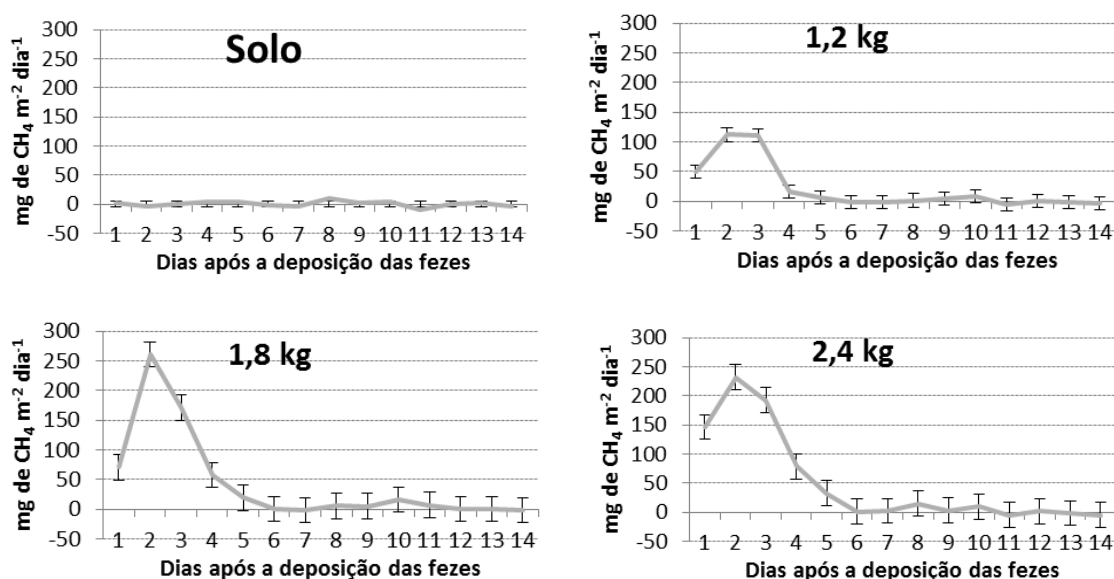


Figura 7. Emissões diárias de CH_4 e erro padrão da média. A - tratamento controle (solo); B – 1,2 kg de fezes; C - 1,8 kg de fezes; e D - 2,4 kg de fezes.

Até o quarto dia de avaliação foi observado alta emissão de CH_4 (Figura 8). Considerando o fluxo acumulado ao longo dos 14 dias de coleta como sendo o fluxo total (100%), foi verificado que 93% das emissões no tratamento 1,2 kg de fezes ocorreram nos

três primeiros dias. Já nos tratamentos 1,8 e 2,4 kg de fezes foram observados emissões da ordem de 83 e 81% respectivamente, para o mesmo período. No quarto dia após a deposição das fezes no pasto a produção de CH₄ atingiu valores superiores a 90% do potencial no período estudado para os três tratamentos.

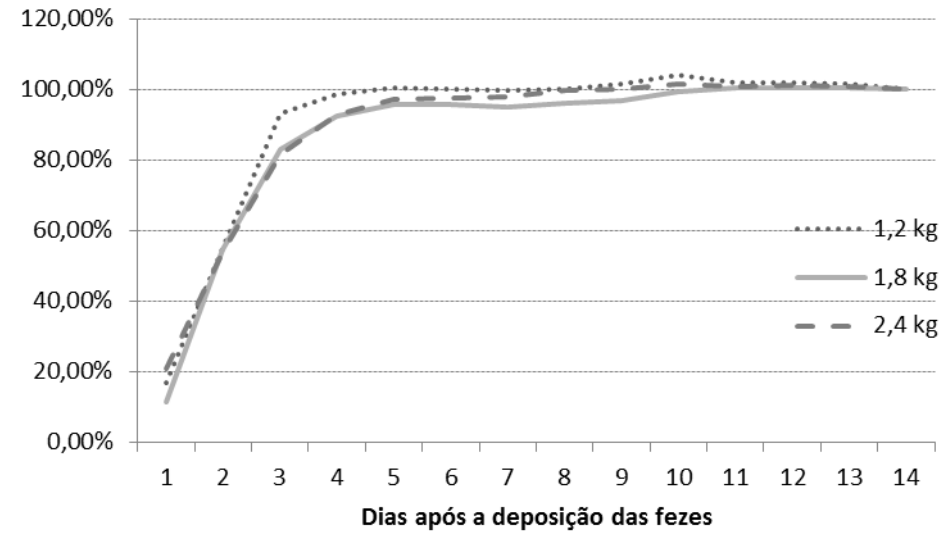


Figura 8 Acumulação percentual (dia a dia) das emissões de CH₄ em relação ao total emitido durante o período de avaliação.

O pico inicial de emissão no primeiro dia representou 27,5%, 16,7% e 20,9% do total emitido nos tratamentos 1,2, 1,8 e 2,4 kg de fezes respectivamente. O pico inicial de emissão representa o principal momento de produção de CH₄ nas fezes, chegando a aproximadamente 55% do total de emissões de CH₄ de todos os tratamentos nos 2 primeiros dias, comportamento semelhante a outros estudos nacionais e internacionais (LODMAN et al., 1993; JARVIS et al., 1995; SAGGAR et al., 2003; SHERLOCK et al., 2003; CHIAVEGATO, 2010). Os tratamentos 1,8 kg e 2,4 kg de fezes permaneceram emitindo CH₄ por um tempo maior, provavelmente pela manutenção da umidade do bolo fecal e consequentemente da atividade de metanogênicas. É a umidade nas fezes que promove a formação de microsítios anaeróbicos essenciais ao desenvolvimento de metanogênicos (SAGGAR et al., 2004), e consequentemente, induzindo a produção de CH₄.

A regressão não foi significativa na dose 1,8 kg de fezes, não apresentando associação com nenhuma variável, já na dose 1,2 kg a regressão entre a temperatura no interior da câmara e os fluxos não foi significativa. No tratamento 2,4 kg de fezes foi encontrado associação significativa entre todas as variáveis e os fluxos, tendo as 4 variáveis explicado 77% dos fluxos. Tabela 14

Tabela 14 Resultados da regressão entre os fluxos de CH₄ e a temperatura no interior da câmara (X₁), temperatura das fezes (X₂), precipitação (X₃) e umidade das fezes (X₄).

Tratamento	Equação	Coefficiente de determinação
1,2 kg de fezes	$Y = -140 + 6,2X_1$	0,09 ns
	$Y = 46,3 + 16,8X_1 - 16,7X_2$	0,50
	$Y = 3,2 + 21,5X_1 - 19,7X_2 + 12,3X_3$	0,58
	$Y = -127,5 + 8,4X_1 - 11,6X_2 - X_3 + 0,3X_4$	0,68

1,8 kg de fezes	$Y = -332,2 + 14,5X_1$	0,13 ns
	$Y = -47,6 + 30,6X_1 - 25,5X_2$	0,39 ns
	$Y = -130,4 + 39,7X_1 - 31,2X_2 + 23,6X_3$	0,47 ns
	$Y = -376,7 + 15,1X_1 - 16X_2 - 1,4X_3 + 0,6X_4$	0,56 ns
2,4 kg de fezes	$Y = -373,8 + 16,3 X_1$	0,16 ns
	$Y = -36,5 + 35,5X_1 - 30,2X_2$	0,41
	$Y = -150,2 + 47,9X_1 - 38,1X_2 + 32,4X_3$	0,65
	$Y = -439,6 + 19X_1 - 20,2X_2 + 3,1X_3 + 0,7X_4$	0,77

Ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Fisher.

Foi observada associação entre a temperatura das fezes com as emissões de CH₄ nas doses mais altas de fezes. LODMAN et al., (1993) verificaram que quando as fezes secam rapidamente sua temperatura deixa de ser um fator importante relacionado a produção de CH₄. De fato, foi observada uma rápida secagem das fezes no presente estudo, principalmente no tratamento 1,2 kg de fezes, sendo o mesmo foi observado em estudo semelhante de JARVIS et al., (1995).

Considerando um animal de 450 kg de peso vivo as emissões anuais seriam de 0,866 kg de C-CH₄ por animal considerando-se os resultados desta avaliação. O valor é superior ao encontrado CHIAVEGATO (2010) em estudo similar no estado de Rondônia (0,6 kg C-CH₄ animal⁻¹ ano⁻¹) e inferior aos valores propostos pelo IPCC (1 kg C-CH₄ animal⁻¹ ano⁻¹; IPCC, 2006) e ao utilizado por MCTI (2011) no Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas (2 kg C-CH₄ animal⁻¹ ano⁻¹). Os valores utilizados pelo IPCC (2006) como fator default são uma extrapolação, e os valores maiores encontrados no Segundo Inventário foram calculados.

3.6.10. Resultados da avaliação da umidade e temperatura das fezes

O teor de água presente nas fezes pode influenciar a atividade dos micro-organismos metanogênicos (LODMAN et al. 1993), e o processo de desidratação das fezes pode ocorrer de maneira diferente em função do diâmetro e altura das fezes. Neste ensaio, foi observada redução na umidade das fezes, no entanto diferenças significativas na umidade foram observadas somente a partir da avaliação do dia 11 (Tabela 15).

Tabela 15 Umidade das fezes de bovinos durante o período de amostragem de metano

Dia	1,2 kg	1,8 kg	2,4 kg
	g de água. kg ⁻¹ de fezes		
1º	829 a	835 a	849 a
4º	723 a	774 a	793 a
7º	666 ab	732 a	742 a
11º	439 b	564 b	698 ab
14º	362 b	444 b	642 ab

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($\alpha=0,05$). Nas colunas cada 10 g de água por kg de fezes equivalem a 1% de umidade.

Os valores iniciais de umidade não diferiram entre os tratamentos. A partir do quarto dia observa-se uma queda de umidade constante em todos os tratamentos. A umidade do tratamento com 1,2 kg de fezes apresentou valores inferiores que os demais tratamentos embora não seja estatisticamente significativo, tendo apresentado a menor umidade final (362 g kg⁻¹). O tratamento com 1,8 kg de fezes apresentou umidades intermediárias e o tratamento

com 2,4 kg apresentou a menor variação de umidade. Esse comportamento é explicado pela altura e diâmetro das fezes, os tratamentos que apresentaram valores superiores desses parâmetros também apresentaram menores perdas de água. A pouca precipitação e alta temperatura nos dias de amostragem explicam a redução da umidade (e.g. de 829 para 362 g kg⁻¹ no tratamento 1,2 kg de fezes.)

A taxa de desidratação das fezes no pasto é variável e muito dependente das condições climáticas. No presente trabalho observa-se uma constante desidratação das fezes até o décimo quarto dia, diferentemente do verificado por CHIAVEGATO (2010). Observou-se a formação de crosta sobre as fezes no tratamento 2,4 kg, que impede a perda de água no bolo fecal e retarda o consequente processo de desidratação, o que explicaria maior umidade nesse tratamento. Essa formação de crosta foi verificada por MISSELBROOK et al., (2005) e CHIAVEGATO (2010), o que para eles explicaria a manutenção de fezes úmidas por longo tempo.

As temperaturas das fezes variaram de 24,1 °C, no primeiro dia de avaliação no tratamento com 2,4 kg, para 33,6 °C no quarto dia no tratamento com 1,2 kg. De maneira geral não foram observadas variações expressivas de temperatura entre os dias e os tratamentos. O tratamento 2,4 kg apresentou menores valores de temperatura, o que poderia ser explicado pela maior altura do bolo fecal e maior quantidade de água que de certa forma conservava a temperatura ambiente (Tabela 16).

Tabela 16 Temperatura das fezes de bovinos durante o período de avaliação. Seropédica, RJ. 2011

Dias	1,2 kg	1,8 kg	2,4 kg
	Temperatura (°C)		
1	25,1	25,0	24,1
2	27,1	26,8	26,7
3	25,3	25,3	25,0
4	33,6	31,4	30,9
5	27,5	27,2	27,1
6	27,5	27,3	27,2
7	27,8	27,6	27,6
8	28,9	28,1	28,4
9	27,5	27,5	27,4
10	27,9	27,3	27,2
11	28,1	27,5	26,9
12	26,9	26,3	26,1
13	26,6	26,1	25,1
14	26,5	16,4	25,3

3.6.11. Teores de Carbono das fezes durante o período de avaliação

O teor de carbono nas fezes não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos ao longo do período de avaliação, exceto no décimo quarto dia, quando fezes do tratamento 1,2 se diferiram dos demais tratamentos (Tabela 17).

Tabela 17 Teor de carbono nas fezes de bovinos durante o período de amostragem de metano

Dias	Massa de fezes (kg)		
	1,2	1,8	2,4
	Teor de carbono (g por kg de Matéria Seca)		
1	420 a	416 a	439 a
4	396 a	415 a	402 a
7	374 a	397 a	363 a
11	352 a	343 a	351 a
14	303 b	347 a	374 a

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($\alpha=0,05$)

3.6.12. Resultado das avaliações das emissões de N₂O

Os fluxos de N₂O acumulados apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos e o controle (Tabela 18), o que nos permite concluir que o N presente nas fezes contribuiu para os fluxos de N₂O. Quando maior a quantidade de fezes maiores foram as emissões acumuladas de N₂O.

Tabela 18 Emissão acumulada de N-N₂O durante o período de avaliação

Tratamento	mg N-N ₂ O m ⁻²
Solo nu	12,357 d
1,2 kg de fezes	32,950 c
1,8 kg de fezes	66,154 b
2,4 kg de fezes	185,62 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Não houve um pico de N₂O logo após a colocação das fezes sobre o solo, sendo os maiores fluxos observados somente a partir do quarto dia de avaliação (Figura 9), permanecendo as emissões dos tratamentos com fezes superiores as emissões do solo. A precipitação no terceiro dia e o aumento da atividade microbiana em função da aplicação das fezes ao solo proporcionou esse período de maior emissão. Nas condições locais de estudo foi possível observar a secagem das fezes e a formação de crostas, o que segundo SAGGAR et al (2004) provoca a redução nos fluxos de N₂O e a cessação do efeito do N adicionado ao solo através de excretas. Essa cessação foi observada a partir do décimo dia de avaliação, quando os fluxos se igualaram com os fluxos do controle. Isso indica que o período de avaliação de 15 dias foi razoável para capturar os fluxos de N₂O que mais explicariam as emissões pela aplicação das fezes de bovinos ao solo da pastagem.

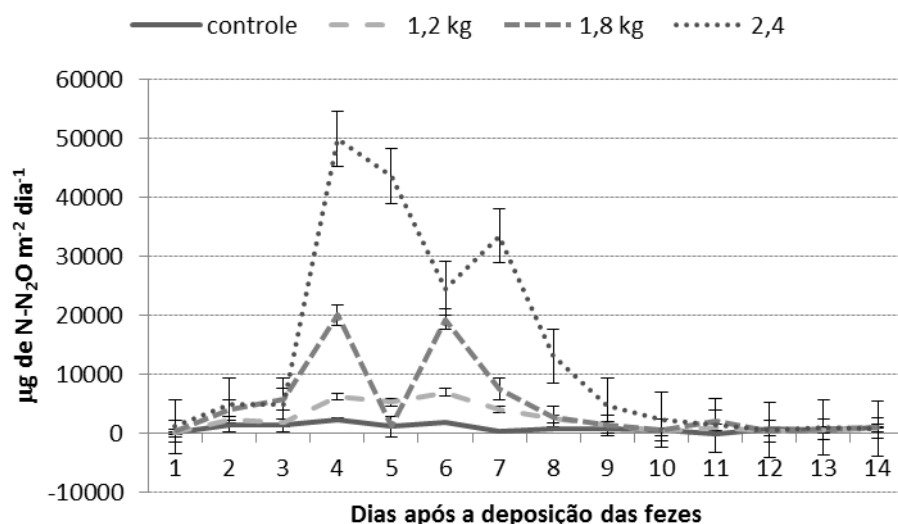


Figura 9. Fluxos diários de N_2O de solo de pastagem tratado ou não com fezes bovinas durante um período de 15 dias de avaliação.

Ao se compararem as emissões acumuladas, verifica-se que todos os tratamentos apresentaram comportamento similar, ou seja, aumento nas emissões a partir do quarto dia, e mais de 90% do total das emissões durante o período de avaliação ocorreram até o nono dia (Figura 10).

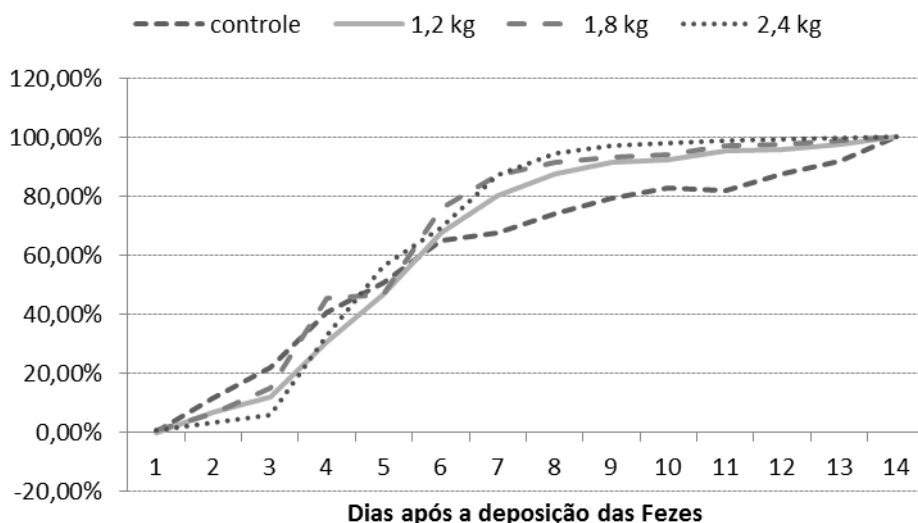


Figura 10. Acumulação de N_2O diária expressa como porcentagem do total de N_2O emitido durante todo o período de avaliação, de solo de área de pastagem e do mesmo solo tratado com crescentes quantidades de fezes bovinas.

A análise de regressão múltipla não foi significativa entre a menor dose e as variáveis. No tratamento 1,8 kg de fezes a regressão só foi significativa entre os fluxos e a temperatura no interior da câmara e das fezes. A regressão foi significativa entre todas variáveis e os fluxos, sendo este explicado pelas 4 variáveis em 81% no tratamento 1,8 kg (Tabela 19).

Tabela 19. Resultados da regressão entre os fluxos de N₂O e a temperatura no interior da câmara (X₁), temperatura das fezes (X₂), precipitação (X₃) e umidade das fezes (X₄).

Tratamento	Equação	Coefficiente de determinação
1,2 kg de fezes	$Y = -5209,1 + 292,1X_1$	0,06 ns
	$Y = -13755,7 - 193,1X_1 + 765,1X_2$	0,33 ns
	$Y = -16764,4 - 135,5X_1 + 555,5X_2 + 858,2X_3$	0,45 ns
	$Y = -26271 - 815X_1 + 1144,4X_2 - 105,8X_3 + 24,5X_4$	0,60 ns
1,8 kg de fezes	$Y = -46423,2 + 1975,4X_1$	0,34
	$Y = -61146,4 + 1139,5X_1 + 1318X_2$	0,44
	$Y = -61093,5 + 1133,7X_1 + 1321,7X_2 - 15,1X_3$	0,44 ns
	$Y = -82910,6 - 1047,7X_1 + 2673,3X_2 - 2227,4X_3 + 56,23X_4$	0,54 ns
2,4 kg de fezes	$Y = -40278,8 + 2067,64X_1$	0,06 ns
	$Y = -121819 - 2561,8X_1 + 7299,3X_2$	0,49
	$Y = -151945 + 728,9X_1 + 5200,8X_2 + 8592,1X_3$	0,71
	$Y = -208878 - 4963,6X_1 + 8728X_2 + 2819X_3 + 146,7X_4$	0,81

Ns - Não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Fisher.

Os fatores de emissão de N-N₂O induzidos pela presença das fezes variaram de 0,59% a 2,45% do N oriundo das fezes (Tabela 20). Quanto maior a dose maior foi o fator de emissão, o que permite concluir que o tamanho das fezes é importante para a indução dos fluxos de N₂O. JARVIS et al. (1995) também encontraram resultados semelhantes. LESSA (2011) encontrou fatores próximos a 0,8% durante o verão e próximo a zero durante o inverno (período seco do ano). Como não é simples estimar o volume de fezes excretado pelos animais, assumiu-se que é um processo aleatório, adotando-se um valor médio de emissão de N-N₂O de 1,0 % do total de N excretado nas fezes.

Tabela 20. Quantidade de matéria Seca (MS), nitrogênio, emissão acumulada e fração de N perdido na forma de N-N₂O em função das fezes frescas aplicadas em cada tratamento.

Tratamento kg de fezes	MS de fezes (g) ¹	N nas fezes (g) ²	Emissão N-N ₂ O Acumulada (g)	Fator de Emissão (%)
1,2	180,0	3,528	0,021	0,59
1,8	270,0	5,292	0,054	1,02
2,4	360,0	7,056	0,173	2,45

¹ g de MS tratamento; ² determinado pelo método Kjeldhal (ALVES et al., 1994).

De acordo com BRAZ et al., (2002), um animal de 450 kg de PV excreta na forma de fezes 21,35 kg de N por ano. Aplicando-se o fator de emissão encontrado neste ensaio as emissões por um animal de 450 quilos de peso vivo seriam de 0,215 kg de N-N₂O por ano originário das fezes.

3.6.13. Resultados do experimento de N₂O induzido pela adição de urina

3.6.14. Avaliações de temperaturas e precipitação pluvial no segundo experimento

A temperatura ambiente média durante o período de avaliação foi de 26,5 °C e a temperatura média no interior da câmara no momento de amostragem de 27,8 °C. Em geral a temperatura ambiente e a temperatura no interior da câmara variaram 1°C, porém houve variações negativas de -1,2 °C no segundo dia de coleta até positivas, em 5,1 °C no quadragésimo primeiro dia de coleta. Essa maior variação de temperatura ocorreu após um período sem precipitação e que a temperatura do ar estava acima de 30 °C. Em dia com ocorrência de chuvas ou nublados essa diferença de temperatura foi pequena (Figura 12).

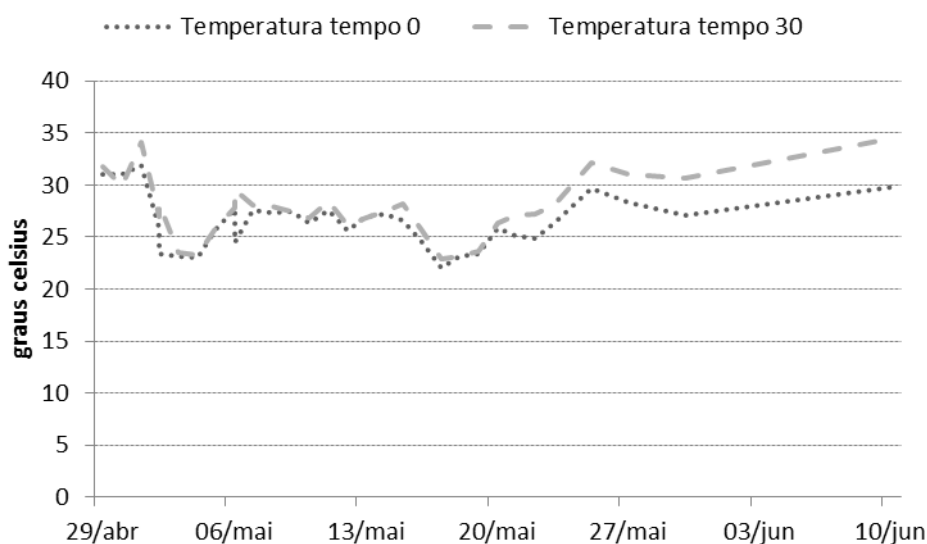


Figura 11 Temperatura ambiente e temperatura no interior da câmara no momento de amostragem. (°C).

A precipitação pluvial ocorreu em 3 momentos distintos de amostragens, após uma, duas e três semanas do início do ensaio (Figura 13). A maior precipitação foi observada no sétimo dia de coleta (20 mm). A ocorrência de chuvas foi normal para o período de outono no local de estudo.

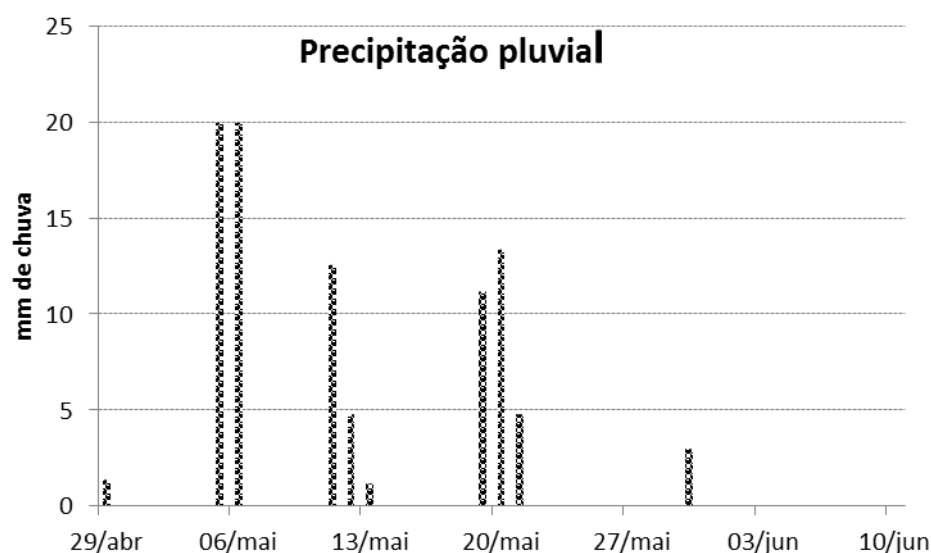


Figura 12 Precipitação pluvial durante o período de avaliação (mm de chuva).

3.6.15. Fluxos de N_2O induzidas pela micção de bovinos em pastagem

Os fluxos de N_2O variaram significativamente entre os tratamentos (1, 1,5 e 2 litros de urina respectivamente) e em relação ao controle (Tabela 21). Os resultados encontrados permitem afirmar que as emissões encontradas foram provenientes não só do solo, mas também da urina depositada na pastagem.

Tabela 21. Fluxos de N_2O no solo nu e com deposição de diferentes doses de urina durante 45 dias de avaliação. Outono de 2011, Seropédica, RJ.

N ₂ O total emitido (mg N-N ₂ O m ⁻²)	
Tratamento	Emissão
Solo nu	8,68 c
1 L	209,22 b
1,5 L	212,04 b
2 L	294,59 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

O pico inicial de emissão ocorreu após uma semana de aplicação da urina, período que proporcionou a ocorrência de nitrificação e desnitrificação do N proveniente da urina (VAN GROENIGEN et al., 2005). No entanto, não foi verificado um pico inicial no dia seguinte a aplicação de urina, reportado em outros estudos (CHIAVEGATTO, 2010; WILLIAMS et al., 1993). Após a ocorrência de precipitação as emissões apresentaram fluxos de N_2O aumentados de maneira semelhante ao encontrado por OLIVEIRA (2009), que utilizava ureia como fonte de N. Após os eventos de precipitação foram observados ao final da primeira, segunda e terceira semanas de avaliação os maiores fluxos de N_2O .

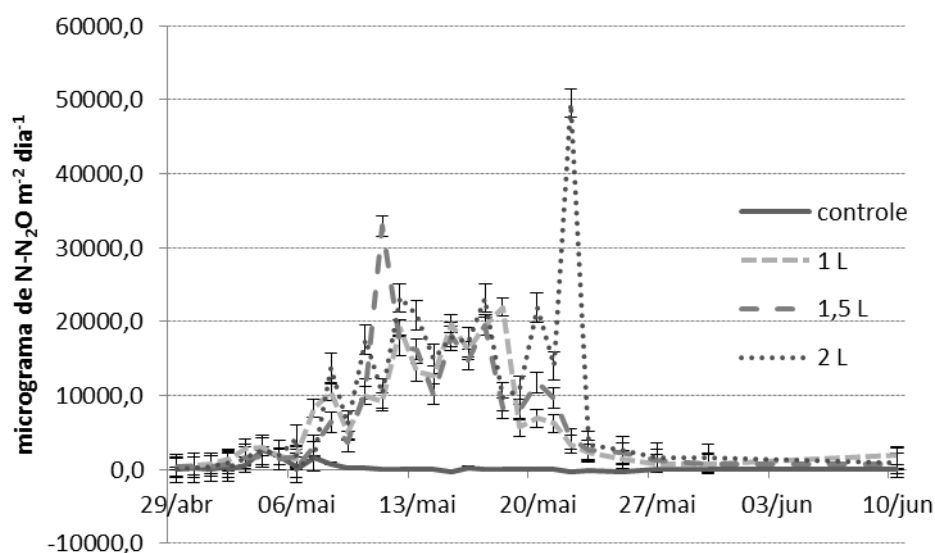


Figura 13. Fluxo diário de N_2O e respectivo erro padrão da média, em solo de pastagem tratado com diferentes doses de urina bovina (sem adição de urina, e com 1, 1,5 e 2 litros de urina).

Após 25 dias de avaliação os fluxos de N_2O acumulados no controle (solo nu) representaram o máximo de emissão, estabilizando a partir daí, sendo inclusive detectado um consumo de N_2O (Figura 14), o que pode ocorrer em solos bem drenados (MOSIER et al., 2004). Nos primeiros 25 dias de avaliação, os tratamentos que receberam urina haviam emitido mais de 95% do total de N_2O acumulado em todo o período de avaliação (Figura 15). LESSA (2011) encontrou que após 30 dias de avaliação, os fluxos de N_2O retornaram aos patamares observados no solo sem a urina, cessando assim o efeito da emissão de N_2O induzida pela urina, comportamento semelhante ao encontrado no presente estudo.

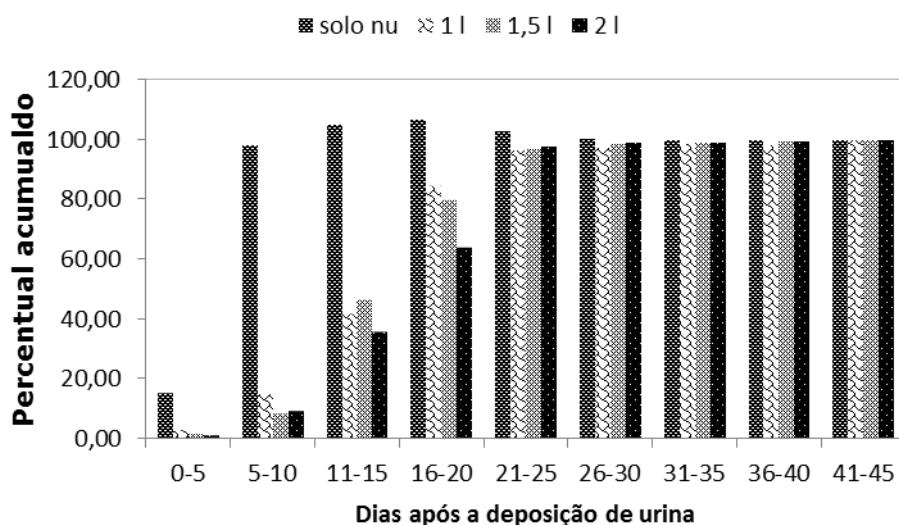


Figura 14. Acumulação de N_2O a cada 5 dias expressa como percentagem do total de N_2O emitido durante todo o período de avaliação, de solo de área de pastagem e do mesmo solo tratado com crescentes doses de urina bovina (1, 1,5 e 2 litros de urina).

Quando se aplicou uma análise de regressão múltipla observou-se significância apenas na menor dose, mesmo assim as variáveis ainda explicaram até 30% dos fluxos de

N₂O da urina. A variável que mais explicou as emissões foi a temperatura no interior da câmara (Tabela 22).

Tabela 22 Resultados da regressão entre os fluxos de N₂O e a temperatura no interior da câmara (X₁), precipitação (X₂).

Tratamento	Equação	Coefficiente de determinação
1 litro de urina	$Y = 38717 - 1150,7X_1$ $Y = 42046,3 - 1245,9X_1 - 243,1X_2$	0,26 0,30
1,5 litro de urina	$Y = 32133,8 - 910,5X_1$ $Y = 29918,1 - 847,1X_1 + 161,8X_2$	0,12 ns 0,14 ns
2 litros de urina	$Y = 47454,3 - 1366,1X_1$ $Y = 49126,2 - 1414,2X_1 - 122,8X_2$	0,37 0,14 ns

Ns - Não significativo a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Fisher.

3.7. Fatores de emissão direta de N₂O de urina e fezes bovinas

Os fluxos de N₂O foram integrados e obteve-se a emissão derivada do N aplicado através da urina subtraindo-se as emissões do tratamento controle. A urina utilizada no experimento apresentou em média 6,04 g de N por litro de urina com um pH de 7,04. Os fatores de emissão encontraram-se entre 2,36 a 3,32% do total do N aplicado perdido diretamente na forma de N₂O (Tabela 23). Esses valores são próximos do preconizado pelo IPCC de 2%, e do encontrado por LESSA (2011), de 2,56% em condições tropicais durante o verão no cerrado, indicando assim a aplicabilidade do fator em diversos locais do Brasil.

Tabela 23. Quantidade de N aplicado, emissão de N-N₂O e fator de emissão induzido

Tratamento	g de N aplicado	Gramas de N-N ₂ O emitido	Fator de Emissão %
1 L	6,04	0,201	3,32
1,5 L	9,06	0,204	2,44
2 L	12,08	0,286	2,36

SILVA et al., (2001) encontraram que um animal adulto excreta 184,33 mg de N por kg de peso vivo através da urina. Assim, um animal de 450 kg de peso vivo excreta por ano 30,232 kg de N pela urina e emitirá, aplicando-se o fator encontrado no estudo, 0,666 kg de N-N₂O ano.

Ao contrário do N₂O emitido pelas fezes, as doses de urina explicaram 83,97% das emissões (Figura 16) indicando que o fator de emissão encontrado é aplicável a diferentes quantidades de N depositadas no solo na forma de urina pelos animais. Cada litro de urina emitirá 91,6 mg de N-N₂O nas mesmas condições de estudo e com o mesmo teor de N.

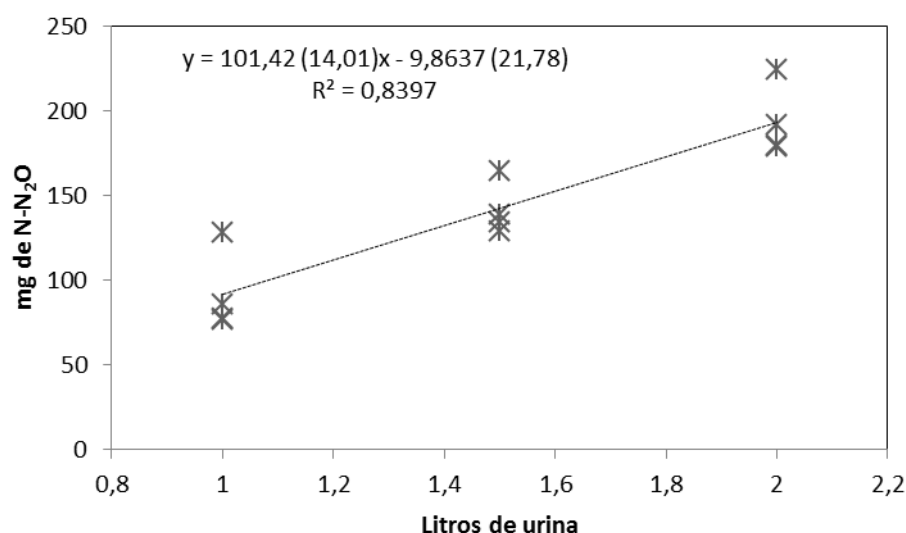


Figura 15. Regressão linear entre as doses aplicadas e o total de N₂O emitido nas respectivas repetições. Os números entre parênteses representam o erro padrão. Regressão significativa pelo teste de Fisher ($\alpha = 0,05$).

Considerando-se um animal de 450 kg de peso vivo excretando 21,35 kg de N por ano pelas fezes e 30,23 kg de N pela urina, e aplicando-se os fatores de emissão encontrados no presente estudo, encontram-se emissões anuais de 0,879 kg de N-N₂O, abaixo do valor de 1,183 kg de N-N₂O encontrado ao aplicar o fator de emissão do IPCC (2006) para uma unidade animal (Tabela 24).

Tabela 24 Nitrogênio excretado por ano através das fezes e da urina. Fator de emissão e emissão total anual de N-N₂O encontrado no presente estudo e comparado com o fator de emissão do IPCC.

Fonte	N excretado kg N UA ⁻¹ ano ⁻¹	Fator de emissão direta de N ₂ O	Total emitido kg N-N ₂ O
Fezes	21,35	1,00 %	0,213
Urina	30,23	2,36%	0,666
Total por animal	51,78	-	0,879
IPCC (2006)	59,13	2,0 %	1,183

UA – Unidade animal (450 kg peso vivo). As emissões foram calculadas para um animal de 450 kg de peso vivo usando as taxas de excreção encontradas por BRAZ et al., (2002), SILVA et al., (2001), e a concentração de N na matéria seca das fezes de 1,96%.

As emissões de N₂O encontradas por LESSA (2011), e no presente ensaio, indicam que a urina é a principal via de emissão de N₂O pela excreção de bovinos. O menor fator de emissão encontrado em ambos os estudos para o N das fezes indica que para as condições brasileiras, um fator específico de não mais do que 1% para as fezes poderia ser adotado. Para a urina, o fator de 2 % utilizado pelo IPCC (2006) parece adequado para as condições mais úmidas, porém precisa ser reavaliado para períodos secos, assim como o das fezes (LESSA, 2011).

Para calcular a emissões de N₂O dos rebanhos de cada cenário avaliado neste estudo, foram utilizados os fatores de emissão da Tabela 24, que levam em conta o peso vivo

dos bovinos. As emissões foram calculadas para cada categoria de animal, em cada cenário, em função do peso vivo.

3.8. Cálculo da emissão de CO₂ para produção de silagem e demais atividades

A metodologia utilizada no presente estudo de análise do ciclo de vida preconiza que todas as emissões provenientes dos insumos referentes a atividade, neste caso a pecuária de corte, devem ser reportadas. Os insumos referentes à produção de milho para silagem (e. g. sais minerais, fertilizantes, inseticidas, herbicidas, tratores, cercas e óleo diesel), foram considerados como provenientes de fontes externas. A quantificação dos gases produzidos pelos insumos contabilizou todos os GEE, desde a sua fabricação, transporte, aplicação e emissão direta após seu uso nas propriedades. As emissões foram calculadas utilizando-se fatores os apresentados na Tabela 25.

Tabela 25. Emissão de CO₂ pelos insumos utilizados na pecuária e agricultura, desde a produção do mesmo à entrega na fazenda. Organizado por MONTEIRO (2009)

Nutrientes/Insumos	CO ₂ /Nutriente	Unidade	Fonte
Nitrogênio	858	(kg/t)	WEST, 2001
Fósforo	165	(kg/t)	WEST, 2001
Potássio	120	(kg/t)	WEST, 2001
Calcário dolomítico	36	(kg/t)	WEST, 2001
Herbicida 1 (Gesaprin 50)	4,7	(kg/L)	WEST, 2001
Herbicida 2 (Sanson 405C)	4,7	(kg/L)	WEST, 2001
Inseticida (Karate)	4,9	(kg/L)	WEST, 2001
Inseticida (Match)	4,9	(kg/L)	WEST, 2001
Formicida	4,9	(kg/kg)	WEST, 2001
Sementes (Pionner)	1,1	(kg/kg)	WEST, 2001
Tratamento de sementes (Cruiser+Standak)	5,2	(kg/L)	WEST, 2001
Ureia	858	(kg/t)	Reijnders, 2008
Diesel	3,1	(kg/kg)	WEST, 2001
Lona plástica	0,35	(kg/m ²)	Romanelli, 2002

As emissões derivadas da produção de silagem, de grãos de milho e de farelo de soja foram calculadas em função das quantidades de silagem e ração necessárias para confinar 70 animais, que consumiam 3,0% do PV. Perdas de 10% do alimento fornecido durante 60 dias, e produtividade média de silagem de 40 Mg ha⁻¹ foram consideradas nos cálculos. As emissões para adubação e calagem para a renovação/manejo da pastagem, consumo de energia, vacinas e sal mineral são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26. Fatores de emissão para insumos utilizados dentro de uma fazenda de produção de bovinos de corte

	Unidade	Fator de Emissão (kg de CO ₂)	Fonte
Energia Elétrica	Kwa ⁻¹	0,052	MCTI, 2011
Calcário	1 Mg	36	West, 2001
Ureia	1 Mg	858	West, 2001
Fósforo	1 Mg	165	West, 2001
Potássio	1 Mg	120	West, 2001
Vacinas	unidade	0,005	Estimado*

Sal mineral	1 Mg	120	Estimado*
-------------	------	-----	-----------

*Estimado m função da emissão média de sais presente no sal mineral (e. g. potássio e fósforo) e energia gasta para produção/transporte das vacinas.

Cada hectare de área útil recebeu calagem equivalente a 2 Mg de Calcário dolomítico a 100% de PRNT a cada 4 anos. As adubações anuais foram de 100, 140 e 80 quilos de N, P e K ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Todos os animais foram vacinados contra febre aftosa e a as fêmeas jovens contra brucelose. O consumo de sal mineral considerado foi de 40 g por UA, e o de sal mineral proteinado, do cenário 3 na fase de engorda, em 150 g por UA.

3.9. Sequestro ou perda de carbono do solo nos sistemas simulados

O fator de mudança no estoque de carbono utilizado no modelo foi o encontrado por MAIA et al., (2009). Os autores consideraram a metodologia de carbono do solo do IPCC (2006) que considera os efeitos na mudança de estoques de C do solo em 30 cm de profundidade após 20 anos de mudança no uso da terra. As taxas de sequestro ou perda de C foram calculadas por MAIA et al., (2009) considerando a quantidade de C de referência do solo, antes do desmatamento, obtida por MELLO (2007). Ao final, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 27, por tipo de pastagem.

Tabela 27. Taxa de acúmulo/perda de carbono pelo solo em função do tipo de manejo da pastagem em cerrados do Mato Grosso e Rondônia

Tipo de pastagem	Varição do estoque de C do solo (Mg C ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Degradada	- 0,28
Nominal	- 0,03
Manejada	+ 0,61

Valores extraídos de MAIA et al., (2009)

3.10. Cálculo das emissões totais de gases de efeito estufa e da pegada de carbono

A análise das emissões de GEE consistiu na divisão do total de CO₂eq emitido pelo rebanho em um ano, pelo total de carne em carcaça equivalente produzida pelo rebanho em um ano. Portanto a unidade funcional adotada foi: kg de CO₂eq por kg de carcaça eq.

As emissões totais de gases de efeito estufa por cada sistema foram calculadas para cada cenário pela equação 12, onde as emissões de N₂O e CH₄ emitidas em um ano são convertidas em toneladas de CO₂ eq de acordo com o IPCC (2007) e somadas ao total de CO₂ emitido pela produção de alimentos para os animais e combustíveis fósseis emitidos por atividades relacionadas a bovinocultura de corte dentro das fazendas prototípicas.

$$T (CO_2) = (X1 * 25) + (X2 * 298) + X3 \quad (12)$$

Onde:

TCO₂ = Emissão anual de CO₂ emitido pelo rebanho de cada cenário;

X1 = Emissão anual de CH₄ oriundo da fermentação entérica e fezes do rebanho em 1 ano;

X2 = Emissão anual de N₂O oriundo das fezes e urina do rebanho em 1 ano;

X3 = Emissão anual de CO₂ das demais atividades (combustível, agricultura, adubação de pastagem etc.).

Em seguida, obteve-se o balanço considerando a mudança no uso da terra em função do manejo da pastagem. O sequestro ou perda de C pelo solo foi transformado em CO₂eq, e multiplicado pela área útil ocupada pelos rebanhos em cada cenário. Em seguida, foram somadas as emissões totais de CO₂eq pelo rebanho dos respectivos cenários obtidas pela equação 12.

Balanço de GEE incluindo as mudanças no C do solo

$$\text{Saldo de CO}_2\text{eq} = T(\text{CO}_2) - (\Delta C \text{ solo}) * 44/12 \quad (13)$$

Onde:

$T(\text{CO}_2)$ = Emissão total de CO₂ obtida pela equação 12 em cada cenário;

ΔC = Sequestro ou perda de carbono pelo solo na área útil total de cada sistema. Esse valor foi obtido multiplicando-se as taxas obtidas por MAIA et al., (2009), da Tabela 27, pela área útil ocupada pelos rebanhos em cada cenário (Tabela 7);

44/12 = fator de transformação da variação do estoque de C do solo em CO₂eq;

Em seguida, dividiu-se o total de CO₂eq pela produção de carcaça obtendo-se a pegada de carbono para cada cenário.

3.11. Avaliação das emissões de GEEs utilizando o nível de detalhamento do Tier1 do IPCC

As emissões de gases de efeito estufa para cada cenário avaliado foram calculadas utilizando os fatores default do IPCC Tier1 (Tabela 28) para as condições brasileiras. O total de animais de cada categoria dentro do rebanho dos cenários prototípicos é multiplicado por estes fatores, obtendo-se a emissão total do rebanho. As emissões de CH₄ e N₂O são transformadas em CO₂eq e somadas ao total de CO₂ pela produção de alimentos e outras atividades dentro da fazenda, necessárias para o manejo do rebanho. Em seguida procedeu-se o cálculo da pegada de carbono de cada cenário conforme metodologia descrita no item anterior.

Tabela 28. Fatores de emissão de GEE *default* utilizado em inventários nacionais (Tier1) para bovinos de corte e em pastagens na América Latina

Gás	Fator de emissão		Unidade	Referência
CH ₄ entérico	Touro	64	kg CH ₄ cabeça ⁻¹ ano ¹	Guia do IPCC (2006)
	Vaca	61		
	Novilho	49		
CH ₄ fezes	Touro	1	kg CH ₄ cabeça ⁻¹ ano ⁻¹	
	Vaca	1		
	Novilho	0,5		
N ₂ O dejetos	0,02		kg N ₂ O-N por kg N excretado ¹	
N ₂ O indireto	0,01		kg N ₂ O-N por kg N excretado	

¹ Para bovinos de corte o IPCC considera uma excreção de 40 kg de N por UA na América Latina.

Os gases originados da produção do milho silagem, milho grão, farelo de soja, combustíveis e energia foram os mesmos utilizados nos demais balanços conforme descrito no tópico 3.6 (cálculo de CO₂ para produção de milho silagem e demais atividades).

3.12. Análise dos diferentes cenários de produção de bovinos de corte utilizando fatores de emissão de GEE obtidos em condições brasileiras

Nessa metodologia, são aplicados os fatores nacionais apresentados na Tabela 29 que foram utilizados para calcular as emissões de GEE dos diferentes cenários avaliados. Cada categoria possui um fator específico, sendo a excreção de N obtida em estudos nacionais. A aplicação desses fatores aos totais de animais em cada cenário prototípico possibilita a obtenção do total emitido pelo rebanho. Os totais de CH₄ e N₂O emitidos são transformados em CO₂ eq. O total emitido é dividido pela produção de carcaça do rebanho, obtendo-se a pegada de carbono. Se incluso o C do solo, conforme metodologia descrita no tópico 3.7, obtém-se um balanço de C no sistema por unidade de produto.

Tabela 29. Fatores de GEE obtidos em estudos nacionais com bovino de corte.

Gás	Fator de Emissão	Unidade	Referência
CH ₄ entérico	Touro 51	kg de CH ₄ por cabeça	DEMARCHI et al.(2003)*
	Vaca 49		
	Novilho 36		
CH ₄ fezes	0,005	g por g de C excretado	Este estudo
N-N ₂ O urina	0,02	g por g de N excretado	Lessa et al (2011) [#] , Este estudo
N-N ₂ O fezes	0,01	g por g de N excretado	Lessa et al (2011), Este estudo

* Estudo de emissão de CH₄ entérico por bovinos da raça nelore, no Estado de São Paulo;

[#] Estudos utilizando excretas de animais sem raça definida durante o período chuvoso e seco em Seropédica-RJ e Santo Antonio de Goiás.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Emissões de GEE em diferentes cenários, calculadas pela metodologia do IPCC, Tier 2

4.1.1. Emissões de CH₄

Comparando-se as emissões dos diferentes sistemas, observa-se que a produção de CH₄ no cenário menos intensivo (cenário 1), para todos os animais, foi de 25.227 kg, sendo 12,28% superior à calculada no cenário 2, de 20.430 kg, praticamente igual ao cenário 3 e 51,2% superior a do cenário 4, que emitiu 16.685 kg de CH₄ (Tabela 30). A queda nas emissões totais dos diferentes rebanhos reflete a melhoria na alimentação dos animais (alimentos com melhor digestibilidade, por exemplo) e a melhoria de índices zootécnicos, como a taxa de natalidade e ganho de peso, o que resulta em um encurtamento do ciclo.

No cenário mais intensivo (Cenário 4), as emissões totais durante o período de confinamento representaram 5,51% do total. Embora as emissões reflitam uma queda nas emissões totais do rebanho, as emissões por área aumentaram de 61,8 kg de CH₄ no cenário 1 (sistema extensivo com pastagem degradada) para 172,9 (cenário 4 intensivo + confinamento). Essa menor emissão no cenário 1, se deve a ocorrência de restrição alimentar pelos animais e uma menor lotação por unidade de área (0,5 UA/ha) em relação ao Cenário 3 e 4 (1,7 e 2,2 UA/ha, respectivamente).

Tabela 30. Produção total de metano e pelo rebanho nos diferentes sistemas de produção avaliados. A diferença equivale ao aumento ou diminuição no total emitido entre os cenários.

	CH ₄ Pasto	CH ₄ Confinamento kg rebanho ⁻¹	CH ₄ total
Cenário 1	25.227	-	25.227
Cenário 2	20.430	-	20.430
Diferença	-	-	- 19,16%
Cenário 3	20.394	-	20.394
Diferença	-	-	- 0,17%
Cenário 4	15.766	920	16.685
Diferença	- 23,69%	-	- 19,19%

As emissões totais por categoria dos animais (Tabela 31) refletem o desempenho zootécnico do rebanho. O cenário 1, que apresenta animais entre 3 e 4 anos, comuns em sistemas extensivos (EUCLIDES FILHO et al, 1997), é caracterizado por maior permanência do animal no pasto, e reflete uma maior emissão por animal do nascimento até o abate. Nos cenários mais intensivos, observa-se menor emissão pelas categorias recria e engorda, em função das melhorias na alimentação e no manejo.

Tabela 31. Produção entérica anual de metano pelas distintas categorias animais nos diferentes sistemas de produção avaliados.

Categoria	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
	Emissão de CH ₄ por categoria (kg/ano)			
Touros	276,8	245,2	245,2	245,2
Vacas	8.753,4	8.358,7	8.403,7	8.403,7
Bezerros	349,6	349,7	349,7	349,7
Bezerras	349,6	349,7	349,7	349,7
Novilho	2.272,1	4.207,6	3.158,9	2.928,7
Novilha	2.272,1	4.062,5	3.050,0	2.827,8
Boi magro	3.364,1	-	-	-
Vaca magra	3.318,1	-	-	-
Boi gordo	1.828,1	1.415,5	1.095,9	440,7
Novilha 1º cria	1.987,2	986,5	754,1	479,0
Total do rebanho	25.227	20.430	20.394	16.685

O fator de emissão de CH₄ anual calculado quando utilizada a metodologia do IPCC (2006) Tier 2 para a categoria vaca com peso médio de 450 kg variou de 87,5 kg CH₄ ano⁻¹ a 84 kg CH₄ ano⁻¹ para o sistema menos intensivo e mais intensivo, respectivamente. Para a categoria touro, as emissões variaram de 69,2 kg CH₄ ano⁻¹ no Cenário 1, e 61,3 kg CH₄ ano⁻¹ nos demais cenários. Os valores encontrados no presente estudos refletem a qualidade do alimento e sua digestibilidade. No pasto degradado no Cenário 1 e nos pastos melhorados nos cenários 3 e 4, animais de maior tamanho e maior consumo acabam produzindo mais metano por ano e, conseqüentemente apresentam maiores fatores de emissão (Tabela 32). O IPCC (2006) utiliza para a América Latina um valor padrão (*default*) de emissão de metano por animal por ano de 56 kg para o gado de corte com 430 kg de peso vivo. MONTEIRO (2009), utilizando um modelo de simulação, estimou a produção de 46,1 kg CH₄ ano⁻¹ para vacas de corte com peso médio de 415 kg, e de 66,8 kg CH₄ ano⁻¹, para touro com peso médio de 700 kg.

Em estudos nacionais com bovinos de corte, por exemplo, DEMARCHI et al., (2003) medindo emissão de metano entérico em novilhos de corte da raça Nelore, com peso vivo médio de 375 kg (217 a 604 kg PV), em pasto de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu encontraram um valor médio de emissão de 47,3 kg animal ano⁻¹. NASCIMENTO (2007) avaliou a emissão de metano por bovino Nelore macho castrado, em confinamento, com dieta de *Brachiaria brizantha* em três estádios de desenvolvimento, e encontrou valores médios de 49 kg CH₄ ano⁻¹ para animais com 402 kg. A autora encontrou maior perda de energia bruta no estádio mais avançado de desenvolvimento da pastagem. PEDREIRA (2004) e PRIMAVESI et al., (2004) encontraram valores da ordem de 115 kg CH₄ ano⁻¹ para vacas lactantes e 97 kg CH₄ ano⁻¹ para vacas secas.

Tabela 32. Fator de emissão entérica de CH₄ para diferentes categorias de bovinos de corte criados segundo 4 cenários prototípicos.

Cenários	1	2	3	4	Variação percentual entre os Cenários 4 e 1
Categoria	kg CH ₄ animal ⁻¹ ano ⁻¹				
Touros	69,2	61,3	61,3	61,3	- 11,4 %
Vacas	87,5	83,6	84	84	- 4,0 %
Bezerros	12,9	11,6	11,6	11,6	- 11,1 %

Bezerras	12,9	11,6	11,6	11,6	- 11,1 %
Novilho	44,4	41,4	32,41	29,1	-34,6 %
Novilha	43,8	40,1	31,41	29,1	- 33,5 %
Boi magro	45,6	-	-	-	-
Vaca magra	48,7	-	-	-	-
Boi gordo	53,4	48,9	43,3	38,9	-27,1 %
Novilha 1º cria	53,3	47,3	42,4	38,8	- 27,3 %
Fator médio por UA	67,6	68,5	54,8	49,9	-26,2 %

Quanto à produção de metano em função das fases de cria, recria e engorda, os animais na fase de cria foram responsáveis por 39,98%, 44,78%, 45,66% e 55,81% da emissão total de CH₄ nos cenários 1, 2, 3 e 4, respectivamente (Figura 17). O peso das emissões de vacas no total emitido subiu de 34,7% para 50,36% (Tabela 33), do cenário menos intensivo (Cenário 1) para o cenário mais intensivo (Cenário 4). Isso é explicado pela menor permanência dos animais na fase de engorda com cenários de maior intensificação. A fase de recria correspondeu em média a 38% das emissões totais de CH₄, exceto no cenário 1, que foi de 22,30%. Na fase de engorda, as emissões de CH₄ corresponderam a aproximadamente 12% do total, exceto no Cenário 1, que chegou a 37,71% do total (Figura 17). A maior emissão pela fase engorda no Cenário 1 é explicada pela maior permanência dos animais nesta fase, que são abatidos com 4 anos de idade, diferentemente dos demais cenários onde os animais são abatidos com no máximo 3 anos.

As emissões de CH₄ encontradas no presente estudo atribuem uma importância um pouco superior à fase de cria quando comparados às encontrados pela Agência de Proteção Ambiental americana (*Environmental Protection Agency*- EPA, 2005) que estimou que 58% do total de metano emitido são provenientes da atividade de cria, e 19% da recria e da terminação em confinamento nos sistemas de produção dos Estados Unidos. Neste trabalho classificaram-se as categorias por peso. Logo, o tempo de permanência em cada fase é função do ganho de peso, o que reflete diretamente nos totais emitidos por cada categoria e no seu peso no total emitido. Nos sistemas menos intensivos os animais permanecem um maior tempo na recria e engorda. No sistema mais intensivo (Cenário 4) os valores de cria são similares aos encontrados nos Estados Unidos, porém as demais fases refletem o tempo de permanência no confinamento (60 a 90 dias no Brasil, e 180 dias nos EUA). MONTEIRO (2009) encontrou proporções de emissão de metano por categorial em relação ao total da ordem de 63%, 30% e 5% nas fases cria, recria e engorda, respectivamente para sistemas intensivo a pasto com confinamento.

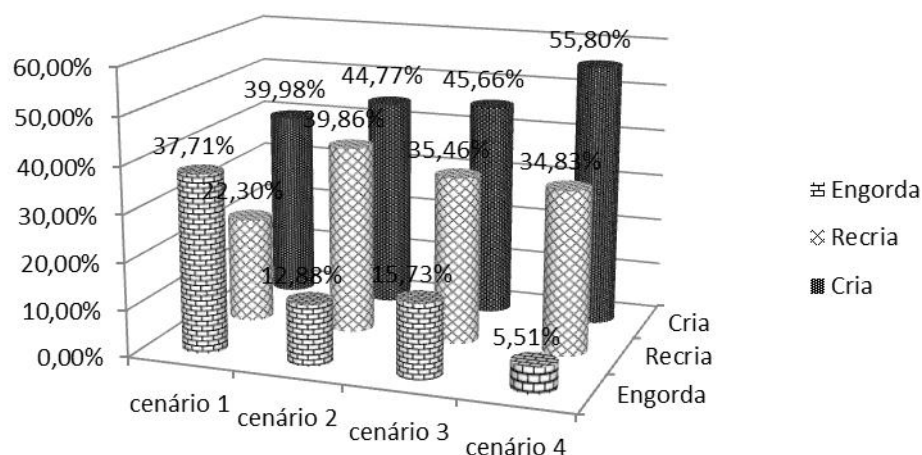


Figura 16. Emissão de metano pelas fases de cria, recria e engorda em relação ao total de metano entérico emitido nos cenários de sistemas de produção avaliados.

Tabela 33. Contribuição das diferentes categorias animais em relação à produção total de metano entérico nos diferentes sistemas de produção avaliados.

Categoria	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Proporção da emissão de metano de cada categoria em relação ao total emitido pelo rebanho (%)				
Touros	1,25	1,37	1,37	1,68
Vacas	34,7	40,91	41,21	50,36
Bezerros	2,02	2,48	3,07	3,75
Bezerras	2,02	2,48	3,15	3,86
Novilho	12,43	20,28	17,73	17,41
Novilha	9,86	19,58	17,73	17,41
Boi magro	10,16	-	-	-
Vaca magra	13,16	-	-	-
Boi gordo	6,52	5,79	7,54	2,64
Novilha 1º cria	7,88	7,09	8,19	3,87
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Cenário 1- Extensivo em pastagens degradadas; Cenário 2 – Extensivo em pastagens resolutivas; Cenário 3 – Intensivo em pastagens e Cenário 4 – Intensivo com terminação em confinamento.

A produção de metano por unidade de carcaça produzida é considerada por diversos autores como o melhor parâmetro para identificar as oportunidades de mitigação de produção deste gás (GOUVELLO et al., 2010; MONTEIRO, 2009; PRIMAVESI, 2004). A maior taxa de lotação, a melhoria na qualidade do alimento oferecido e a redução na idade de abate resultaram numa redução na emissão de metano de 2,75 kg/kg de carcaça para 1,76 kg/kg de carcaça, o que representou uma redução de 27,36% entre o Cenário 1 e 2 (Figura 18). Ao manejar a pastagem e aumentar a produção de carne por hectare (Cenário 3) a emissão reduziu de 1,75 kg/kg de carcaça para 1,29 kg/kg de carcaça, resultando na redução de 26,39% em relação ao Cenário 2, e ao introduzir o confinamento (Cenário 4) as emissões reduziram de 1,29 kg/kg de carcaça para 1,01 kg carcaça, ou uma redução de 20,28 %. As

emissões reduziram 60,37% entre o sistema menos intensivo (Cenário 1) e o cenário mais intensivo (Cenário 4) considerados no presente estudo.

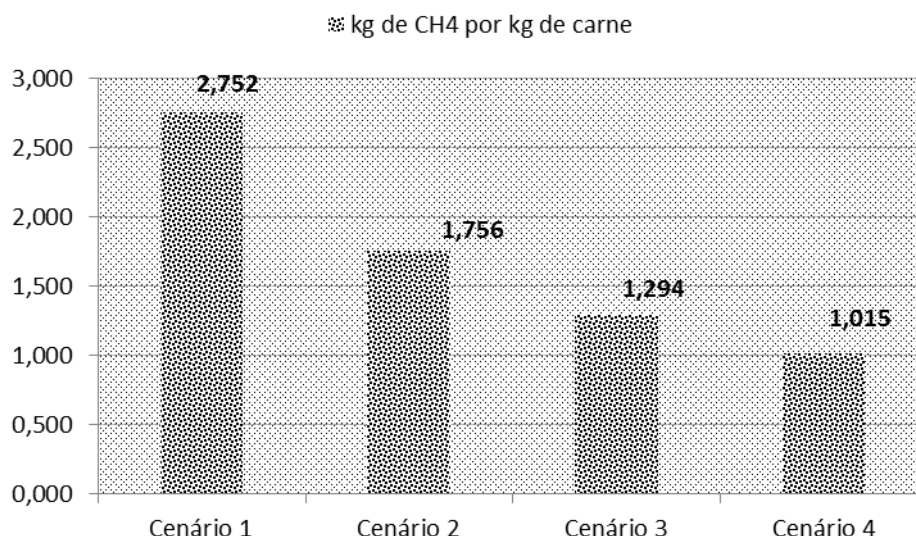


Figura 17. Produção de metano por quilo de carne nos diferentes sistemas de produção avaliados.

Reduzir a quantidade emitida de metano é extremamente relevante para atenuar os efeitos da agropecuária brasileira na produção de gases de efeito estufa global. No Brasil, a emissão de metano entérica representa 63% das emissões totais de metano do País, um gás responsável por mais de 50% das emissões do setor agropecuário de acordo com a Segunda Comunicação Nacional sobre GEE (MCTI, 2011).

O Brasil apresenta grande potencial de redução das emissões deste gás, através da melhoria dos índices produtivos de sua pecuária. Melhorias na alimentação e na genética dos animais resultam numa menor emissão de CH₄ durante o ciclo de vida do animal. Por outro lado essas melhorias resultam numa maior produção de carne resultando em um duplo benefício: o ambiental e o econômico (COHN et al., 2011).

Embora a elaboração de cenários indique que a intensificação da produção de bovinos resulte na menor emissão de CH₄, o Brasil possui poucos estudos com resultados que permitam validar os resultados de modelagem nas diferentes condições climáticas, nos distintos sistemas de produção (nutrição e manejo) e nas diversas categorias animais.

4.1.2. Emissões de N₂O

Na comparação dos diferentes cenários simulados foram encontradas emissões da ordem de 165,18 kg de N₂O pelo rebanho do cenário menos intensificado (Cenário 1) no intervalo de um ano, e de 153,33 kg de N₂O ano⁻¹ no Cenário 2, representando uma redução de 8,17% na produção desse gás. No Cenário 3, houve um acréscimo de 1,03% em relação ao Cenário 2 (158,38 kg N₂O ano⁻¹). Um total de 141,82 kg de N₂O ano⁻¹ foi calculado no Cenário 4, representando uma redução de 9,36% (Tabela 34). Deve-se destacar que as emissões calculadas refletem o número total de animais dos rebanhos simulados.

As emissões de N₂O em sistemas de produção de bovinos a pasto são influenciadas pela alimentação dos animais (teor de proteína bruta e digestibilidade) e também pelos fatores climáticos que interferem na perda de nitrogênio na forma de N₂O. O solo é outro fator

importante neste sistema, o que faz com que as emissões de N₂O pelas fezes e pela urina variem em função da estação do ano, raça do animal e ambiente (SAGGAR et al., 2004).

Tabela 34. Emissão total anual de N₂O pelos rebanhos de cada cenário avaliado, e diferenças percentuais entre os Cenários.

Cenário	kg de N ₂ O	Diferença percentual em relação ao cenário anterior
1	165,18	
2	153,33	- 8,17%
3	158,38	+ 1,03%
4	141,82	- 9,36%

Cenário 1- Extensivo em pastagens degradadas; Cenário 2 – Extensivo em pastagens resolutivas; Cenário 3 – Intensivo em pastagens e Cenário 4 – Intensivo com terminação em confinamento.

Resultados obtidos em estudo realizado na região dos cerrados permitem concluir que as emissões de N₂O são diferentes entre as excretas bovinas, sendo a urina a principal via de produção desse gás (LESSA, 2011). A urina dos bovinos foi responsável pela emissão de 122,43 kg ano⁻¹ de N₂O no cenário 1 e por aproximadamente 113 kg ano⁻¹ de N₂O nos demais sistemas (Figura 19). Mais de 80% do total de N₂O emitido foi através da excreção de urina. As emissões de N₂O pelas fezes variaram de 41,75 kg ano⁻¹ no sistema menos intensivo, para 37,13 kg ano⁻¹ de N₂O no sistema mais intensificado. As diferenças refletem as melhorias na alimentação, com efeito no número de animais no rebanho.

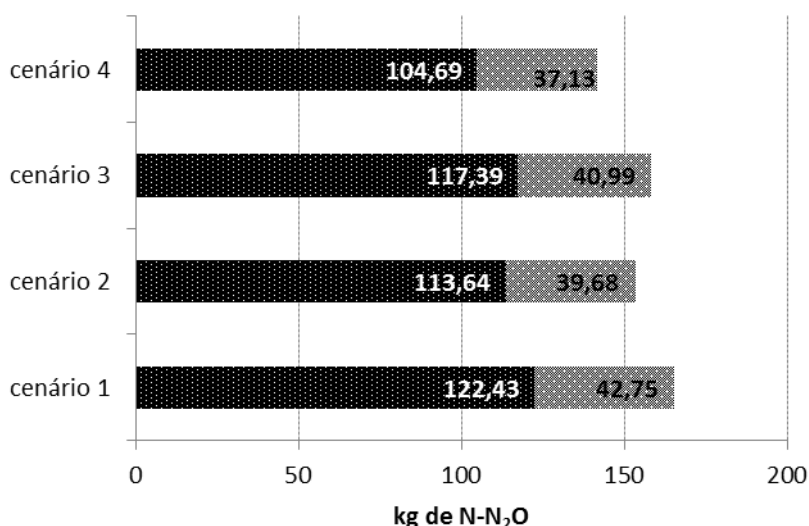


Figura 18. Emissão total anual de óxido nitroso (urina e fezes) nos diferentes Cenários avaliados (Cenário 1- Extensivo em pastagens degradadas; Cenário 2 – Extensivo em pastagens resolutivas; Cenário 3 – Intensivo em pastagens e Cenário 4 – Intensivo com terminação em confinamento).

As melhorias na dieta e tempo de terminação (engorda) implicaram em menor emissão de N₂O por indivíduo e por carcaça produzida. Essa redução é fruto do menor período de engorda, o que resulta numa menor idade ao abate. Na Tabela 35, observa-se que houve uma redução nas emissões de N₂O pelos animais da fase de engorda (novilha e boi gordo), que não necessariamente permaneceram o ano todo no sistema. A diferença entre o Cenário 1 e os demais cenários também é explicada pela redução no ciclo de vida do animal destinado ao abate (de 48 meses para 36 meses, por exemplo) que eliminou a categoria boi magro.

Tabela 35. Emissão de óxido nitroso total (urina+fezes) calculada para cada categoria do rebanho, para os 4 cenários prototípicos.

Categoria	Cenários				Variação percentual entre os Cenários 4 e 1
	1	2	3	4	
	g de N-N ₂ O animal ⁻¹ tempo na categoria ⁻¹				%
Touros	437,57	437,56	464,25	464,25	6
Vacas	376,31	376,31	398,14	398,14	6
bezerro	52,87	52,87	52,87	52,87	0
bezerra	52,87	52,87	52,87	52,87	0
novilho	221,54	405,20	304,21	304,21	37
Sobreano fêmea	204,21	387,23	297,3	297,3	46
Vaca magra	307,13	-	-	-	- 100
Boi magro	332,31	-	-	-	- 100
Novilha	177,42	88,71	81,61	66,95	-18
Boi gordo	196,60	129,76	120,91	96,45	-20

Cenário 1- Extensivo em pastagens degradadas; Cenário 2 – Extensivo em pastagens resolutiveiras; Cenário 3 – Intensivo em pastagens e Cenário 4 – Intensivo com terminação em confinamento.

As emissões de N₂O por unidade animal foram de 780 g quando calculadas através de estudos nacionais. No 2º Inventário Nacional de GEE (MCTI, 2011) a emissão por cabeça foi de 757 g N₂O e esse valor reflete as diferenças na estimativa da excreção de N e o fator de emissão de N₂O. A intensificação dos sistemas de produção resulta numa menor emissão de N₂O por unidade de produto. Aumentar o ganho de peso animal, diminuir a mortalidade, diminuir a idade a primeira cria, etc. expressam esse ganho. Por outro lado é possível diminuir ainda mais as emissões aumentando o aproveitamento nitrogênio pelo animal (MANZANO et al., 1999; KEBREAB et al., 2001; KLEIN et al., 2010) e utilizando adubos nitrogenados de liberação lenta, por exemplo (SMITH 1997; 2010).

4.1.3. Emissões de CO₂ pela alimentação e atividades relacionadas ao sistema de produção de bovinos

O animal é grande responsável pela emissão de CH₄ e N₂O, mas para o manejo das pastagens, práticas como calagem, adubação e controle de plantas invasoras se tornam necessárias, e implicam em emissões de GEE.

O confinamento de animais, apesar de aumentar o ganho de peso e acelerar a idade de abate, é altamente dependente de insumos externos. Para alimentação dos animais durante o período de confinamento foram utilizados silagem de milho, grãos de milho e farelo de soja, produzidos na própria fazenda.

Foi considerada uma média de consumo animal de 12,5 kg de silagem de milho e 2,5 kg de concentrado (milho moído, farelo de soja e mistura vitamínico-mineral). Para alimentar 35 bois e 19 novilhas e 14 vacas de descarte durante aproximadamente 2 meses, foram necessárias 51 toneladas de silagem, 6,12 toneladas de milho e 4,08 toneladas de farelo de soja. Foram necessários 1,28 ha de milho para silagem (rendimento de 40 Mg de matéria fresca) e 0,88 ha de milho para produção de grãos (rendimento de 8 Mg ha⁻¹ de grãos) e 1,42 ha de soja (produção de 3,6 Mg ha⁻¹ de grãos). As emissões de GEE do milho silagem, do milho grão e da soja foram 2.309,52, 1.754,32 e 891,19 kg de CO₂ em 1 safra (Tabela 36). As menores emissões para produção de milho em grão são explicadas atividade de máquinas para ensilagem, que emitem menos GEE, e no caso da produção de soja, que não utiliza adubação nitrogenada. Utilizar variedades com mais potencial produtivo pode resultar numa menor emissão por unidade de produto (milho silagem ou milho grão), e a utilização de adubos nitrogenados de liberação lenta e de tratores mais eficientes também contribuem para mitigar as emissões de gases de efeito estufa na agricultura (KIN et al., 2009).

Tabela 36. Área plantada, produtividade e emissão de GEE do milho para silagem, milho para grão e soja destinados à alimentação dos animais confinados (Cenário 4) em 1 período de confinamento.

Variável	Milho silagem	Milho Grãos	Soja Grãos
Área plantada (ha) ¹	1,28	0,88	1,42
Produtividade (kg/MF*/ha)	40.000	-	-
Produtividade (kg/MS*/ha)	1.400	6.960	3.600
Emissão kg de CO ₂	2.309,52#	1.754,32	891,19

* Matéria Fresca e Matéria Seca; # Metodologia de cálculos descritos no item 3.6

1 A área necessária para cada cultura, o consumo de insumos, e a produtividade foram baseados nos coeficientes técnicos para o milho (Embrapa Milho e Sorgo, 2011) e para a soja (Embrapa Soja, 2011). A massa de grãos necessária para produzir o farelo de soja foi calculada considerando que 100 kg de grãos produziam 80 kg de farelo de soja.

A produção de cada tonelada de matéria seca de silagem de milho, de grãos de milho e soja produzida levou a emissões de 165,2 e 247,5 kg de CO₂ equivalentes, respectivamente.

A calagem e adubação das pastagens nos sistemas mais intensivos foram responsáveis pela emissão 1.892 kg ha⁻¹ de CO₂-eq por ha⁻¹ a cada evento de renovação da pastagem. As emissões derivadas das demais atividades são apresentadas na Tabela 37.

Tabela 37. Total de CO₂-eq emitido pelo uso de energia, combustível dentro da fazenda, adubação e calagem, vacinas e sal mineral em cada cenário prototípico do presente estudo.

Atividade	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Energia	52	52	156	178
Transporte	310	620	710	1.100
Calagem e adubação	-	-	55.580	43.180
Vacinas	2,01	2,77	3,21	3,21
Sal mineral	-	16,65	18,6	17,1

4.1.4. Análise das emissões de CO₂ equivalente pelos Cenários avaliados

O sistema de produção em pastagens degradadas (Cenário 1) foi o que mais emitiu GEE totalizando 689.368,7 kg CO₂-eq, em função do maior número de animais deste cenário, fruto da idade ao abate ser de 4 anos, com qualidade do alimento inferior, os dois últimos fatores chave para maior produção de metano entérico por animal. O Cenário 2, com pastagens com lotação de 1 UA por hectare emitiu 565.585,1 kg de CO₂-eq, 18,83% menos que o cenário 1. Entrando com a suplementação dos animais no Cenário 3, as emissões (622.355,8 kg de CO₂-eq) aumentaram em 10,44% em relação ao observado no Cenário 2, sendo as práticas de manejo para manter a pastagem produtiva e o rebanho maior, as razões dessa variação. Porém, o confinamento e outras melhorias na alimentação dos animais (Cenário 4) fez com que as emissões (524.374,4 kg de CO₂-eq) reduzissem em 15,74 % em relação ao Cenário 3 (Tabela 38). A melhor digestibilidade da dieta e a menor taxa de conversão da energia dos alimentos em metano no rúmen do animal proporcionam reduções nas emissões de metano (BEAUCHEMIN & MCGINN, 2005; JOHNSON & JOHNSON, 1995) e reflete no total emitido pelo rebanho.

O período de confinamento, dentro do sistema intensivo com pastagens manejadas e suplementação (Cenário 4), representou 36.504,77 kg de CO₂-eq, ou 8,94 % do total emitido pelo cenário.

Tabela 38 Quilogramas de CO₂eq emitidos pelo rebanho de cada cenário simulado em um ano

	Pasto	Confinamento	Total	Diferença*
Cenário 1	689368,7	-	689368,7	-
Cenário 2	565585,1	-	565585,1	-18,83%
Cenário 3	622355,8	-	622355,8	-10,44%
Cenário 4	486841,33	36504,77	522646	-15,74%

* Diferença percentual em relação ao cenário anterior (Cenário 2 em relação ao Cenário 1 e assim sucessivamente)

Para produzir 1 uma cabeça no sistema extensivo (Cenário 1) foram emitidas 8.454,63 kg de CO₂-eq (Tabela 39), 28,17% mais que no Cenário 2 com pastagens nominais (5.763,08 kg de CO₂-eq), que por sua vez emitiu 15,88% mais que no cenário 3 com pastagens manejadas e suplementação (4.522,65 kg de CO₂-eq). As emissões reduziram ainda mais com o uso do confinamento, 3.090,49 kg de CO₂-eq, 19,16% inferior ao cenário 3. DEMARCHI et al., (2003) afirmou que a redução na idade média de abate reduziria em 10% as emissões de GEE. Nos cenários avaliados foram encontradas reduções de até 63,44% em função da diminuição da idade média ao abate e melhorias na alimentação.

Tabela 39 Quilogramas de CO₂eq emitido por 1 cabeça durante o seu nascimento até o abate em cada cenário simulado.

Sistema	Idade ao abate	Peso da Carcaça	Emissão
Cenário 1	48	230	8.454,63
Cenário 2	36	240	5.763,00
Cenário 3	24	250	4.522,65
Cenário 4	20	265	3.090,49

Idade ao abate em meses e peso da carcaça em quilogramas.

A pegada de carbono é adequada para avaliar qual o sistema de produção de carne é potencialmente menos poluente. A pegada de carbono dos cenários simulados foram respectivamente, 74,12 kg de CO₂-eq kg⁻¹ de carcaça, 47,83 kg de CO₂-eq kg⁻¹ de carcaça, 38,81 kg de CO₂-eq kg⁻¹ de carcaça e 31,20 kg de CO₂-eq kg⁻¹ de carcaça. No cenário 2, a quantidade anual de CO₂ emitido por carcaça produzida, foi 35,48% menor em relação ao cenário 1. No Cenário 3, foi 18,85% menor em relação ao Cenário 2, e no cenário 4, também houve redução em relação ao Cenário 3 de 19,62%. (Tabela 40).

Em outra avaliação de GEE em sistema de produção de bovinos de corte, MONTEIRO (2009) simulou emissões de 12,30 kg CO₂eq kg⁻¹ de carcaça em um cenário de produção intensiva a pasto e engorda em confinamento e GOUVELLO et al., (2010), em um cenário sobre as sob condições semelhantes ao Cenário 4, encontrou valores da ordem de 17,64 kg CO₂eq kg⁻¹ kg de carcaça. Esses valores podem ser comparados ao Cenário 4 do presente estudo que foi 31,20 kg de CO₂-eq kg de carcaça. O valor simulado no Cenário 4 é superior aos demais por abordar de forma mais completa as fontes de GEE envolvidas na produção de carne e também por utilizar fatores de emissão de GEE diferentes.

Tabela 40 Produção de metano, óxido nitroso, dióxido de carbono, carcaça e equivalente de CO₂ por unidade de carcaça produzida, para os quatro cenários de sistemas de produção simulados.

Variável	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
CH ₄ /carcaça produzida, (kg/kg)	2,75	1,76	1,29	1,01
N ₂ O/carcaça produzida, (g/kg)	17,76	12,97	9,88	8,47
CO ₂ /carcaça produzida, (kg/kg)	0,03	0,05	3,52	3,31
Total carcaça (kg/ano)	9.300,00	11.825,00	15.035,00	16.750,00
CO ₂ -eq/carcaça (kg/kg)	74,12	47,83	38,81	31,20

A redução nas emissões de GEE por unidade de produto em função da intensificação dos sistemas de produção é explicada pela redução da idade de abate, maior ganho de peso dos animais, menor produção de metano em dietas com grãos e suplemento (BEAUCHEMIN & MCGINN, 2005), maior capacidade de suporte da fazenda, maior produção absoluta de carne e maior produtividade por área. Que anula e supera as emissões adicionais da maior utilização de combustíveis fósseis e na produção de alimento para os animais.

4.1.5. Balanço de carbono equivalente por produto considerando a Mudança no Uso da Terra

As taxas de variação dos estoques de C do solo obtida por MAIA et al., (2009) descritas na Tabela 15, foram associadas a área ocupada por cada rebanho estabelecidos pelo cenário, gerando estimativas de mudança de estoque de carbono de - 45.1733,3, -20.900, 25.0507 e 19.2139 kg de CO₂eq para o Cenários 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

Deduzindo do total emitido por cada Cenário o carbono sequestrado pelo solo e dividindo pela produção de carcaça foram obtidas emissões de 122,7 kg de CO₂-eq kg de carcaça, no cenário 1, 49,6 CO₂-eq kg de carcaça no Cenário 2, 23,2 CO₂eq kg carcaça no cenário 3, e o cenário 4 que emitiu 19,7 CO₂eq kg carcaça (Tabela 41). Os resultados corroboram com a hipótese que a recuperação de pastagem e o consequente incremento de C no solo compensam as emissões desse processo, e até reduzem as emissões de GEE por unidade de produto.

Tabela 41 Emissão de CO₂eq, sequestro de carbono pelo solo; equivalente por unidade de carcaça produzida, para os quatro sistemas simulados.

Variável	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
CO ₂ eq emitido (kg)	689.369,7	565.585,1	612.355,8	522.646,0
CO ₂ eq solo (kg)	451.733,3	20.900	-250.507	-192.139
Total de CO ₂ eq (kg)	1.141.102	586.485,1	371.849,1	330.507
Total de carcaçaeq (kg/ano)	9.300	11.825	16.035	16.750
CO ₂ eq carcaçaeq (kg/kg)	122,7	49,6	23,2	19,7

O presente balanço de gases de efeito estufa em diferentes cenários de produção de bovinos valida os estudos que mostraram que o maior uso de insumos aumenta a emissão por unidade animal, e também reduz as emissões por unidade de produção (IPCC, 2007b). Mas ainda, também confirmam estudos que mostraram que o manejo de pastagens apresenta o potencial de mitigação do efeito estufa (SOUSSANA et al., 2007; CONANT et al., 2001; PAULINO & TEIXEIRA, 2010).

O Brasil possui uma enorme área de pastagem, aproximadamente 180 milhões de hectares (IBGE, 2008), dos quais 10,1% segundo o censo agropecuário oficial estão degradadas e em uma estimativa de EUCLIDES FILHO et al., (1997) pode chegar a mais de 40 %, o que possibilita ao país aumentar a produção de carne e ao mesmo tempo reduzir a área de pasto liberando áreas para outras atividades.

4.2. Balanço de Gases de Efeito Estufa através do nível de detalhamento 1 (Tier 1) do IPCC

Aplicando se essa metodologia encontrou emissões de 50,9, 41,9, 35,4 e 31,1 kg de CO₂eq por kg de carcaça (Tabela 42) para o cenário 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Os fatores *default* do IPCC também permitiram observar uma mitigação nas emissões. As emissões no cenário mais intensivo são 38,9% menores que as do cenário mais extensivo.

Tabela 42 Emissão de metano, óxido nitroso, dióxido de carbono e produção de carcaça; equivalente por unidade de carcaça produzida, para os quatro sistemas simulados.

Variável	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
CH ₄ /carcaça produzida, (kg/kg)	1,74	1,28	0,98	0,85
N ₂ O/carcaça produzida, (g/kg)	24,63	33,18	24,92	21,54
CO ₂ /carcaça produzida, (kg/kg)	0,03	0,05	3,52	3,31
Total carcaça (t/ano)	9.300	11.825	16.035	16.750
Carcaça (kg/ha útil*/ano)	23,97	66,03	140,71	173,62
CO ₂ -eq/carcaça (kg/kg)	50,90	41,96	25,37	31,10

* Refere-se somente a área destinada a produção de bovinos de corte excluída áreas destinadas a outras atividades, áreas de preservação permanente e reserva legal.

4.2.1. Balanço de GEE utilizando o nível de detalhamento 1 do IPCC incluindo a mudança no uso da terra

Incluindo as mudanças nos estoques de carbono dos solos com pastagens encontramos emissões 2.267, 2.714, 2.517 e 2.802 kg de CO₂eq por hectare para os cenários 1, 2, 3 e 4 respectivamente. O IPCC considera que solos com pastagens não sofrem variações nos estoques de carbono após 20 anos de instalação, no entanto no Brasil existe uma enorme área com pastagens degradadas que sofrem alterações no carbono do solo e são potenciais áreas para o sequestro de carbono pelo solo. A inclusão do sequestro de carbono pelo solo no balanço diminui o incremento nas emissões totais por área que ocorre em função da intensificação do sistema de produção (COHN et al., 2011).

4.3. Balanço de gases de efeito estufa aplicando-se fatores de emissão de pesquisas feitas no País

A pegada de carbono equivalente considerando os fatores de emissão nacionais nos diferentes cenários simulados foram respectivamente 38,17 kg de CO₂-eq/ kg de carcaça, 28,09 kg de CO₂-eq/ kg de carcaça, 24,9 kg de CO₂-eq/ kg de carcaça e 21,98 kg de CO₂-eq/ kg de carcaça. Nesta metodologia encontramos as menores pegadas de carbono para produzir carne bovina. Em todos os cenários a pegadas de carbono são inferiores às demais metodologias. (Tabela 43).

Tabela 43. Emissão de metano, óxido nitroso, dióxido de carbono e carcaça; equivalente por unidade de carcaça produzida, para os quatro cenários avaliados.

Variável	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
CH ₄ /carcaça produzida, (kg/kg)	1,31	0,97	0,74	0,65
N ₂ O/carcaça produzida, (g/kg)	17,76	12,97	9,88	8,47
CO ₂ / carcaça, (kg/kg)	0,03	0,05	3,52	3,31
Total carcaça (t/ano)	9.300	11.825	16.035	16.750
Carcaça (kg/ha útil/ano)	23,97	66,03	140,71	173,62
CO ₂ -eq/carcaça (kg/kg)	38,17	28,09	24,90	21,98

4.3.1. Balanço de CO₂eq utilizando fatores nacionais e incluindo as mudanças no estoque de carbono do solo

Quando incluímos o carbono sequestrado ou perdido pelo solo no balanço das emissões de CO₂eq pelos sistemas de produção avaliados nos diferentes cenários encontramos emissões de 86,74 kg de CO₂eq por kg de carcaça no Cenário 1, valor superior a dez vezes ao emitido por quilo de carcaça no Cenário 4 de 10,52 kg de CO₂eq (Tabela 44). Essa metodologia foi a que proporcionou a maior mitigação em termos percentuais quando consideramos a mudança no uso da terra.

Tabela 44 Emissão de CO₂ equivalente, sequestro de carbono pelo solo; balanço de CO₂, produção total de carcaça, CO₂ equivalente por unidade de carcaça produzida, em função dos cenários avaliados. .

Variável	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
CO ₂ eq emitido (kg)	35.980,3	332.229	399.340	368.279,5
CO ₂ eq solo (kg)	451.733,3	20.900	-250507	-192.139
Total de CO ₂ eq (kg)	806.713,6	353.129	148.833,4	176.140,5
Total de carcaçaeq (kg/ano)	9.300	11.825	16.035	16.750
CO ₂ eq carcaçaeq (kg/kg)	86,74	29,86	9,28	10,52

4.4. Avaliação do Balanço de Gases de Efeito Estufa em função da intensificação da bovinocultura de corte e das diferentes metodologias aplicadas

Ao aplicar a metodologia Tier 2 do IPCC (2006) para calcular as emissões de entéricas de metano e fatores de emissões mais detalhadas (excreção de N para s diferentes categoria e distinção entre N excretado entre fezes e urina) para calcular a emissões de N₂O foi encontrada uma pegada de carbono muito superior as das demais metodologias. No cenário 1 por exemplo, utilizando a metodologia Tier 2, a emissão total foi de 74,12 kg por kg de carcaça e no mesmo cenário as emissões forma de 38,17 kg por kg de carcaça ao se utilizar a metodologia nacional (Figura 20) no cenário 1 por exemplo. A metodologia aplicando os fatores default do IPCC (Tier 1) apresentou emissão 31,32 % menor em relação a metodologia baseada no Tier 2, sendo que no cenário 4 o valor encontrado foi praticamente o mesmo. Quando se utilizou a metodologia com fatores nacionais foi encontrada uma redução nas emissões de 42,38% entre o cenário mais extensivo e o cenário mais intensivo e de aproximadamente 30% entre o Cenário 2 (Média Brasileira) e 4 mais intensivo. A metodologia Tier 1 do IPCC implicou em emissões aproximadamente 30% maior em todos os cenários avaliados, na comparação com a que se utilizaram fatores nacionais.

Em estudos como o de CEDERBERG et al., (2011) que calcularam a pegada de carbono de bovinos na fronteira agrícola da Amazônia em 23-34 kg CO₂eq kg de carcaça⁻¹, utilizando outros índices zootécnico e não inclusos as emissão da alimentação. GOUVELLO et al., (2010) calcularam emissões de CO₂eq kg de carcaça⁻¹ para o Brasil central entre 17,64 e 29,65 utilizando a equação de Ellis para estimar metano e o fatores default do IPCC para óxido nitroso. Portanto é factível afirmar que os fatores de emissão nacionais proporcionam uma menor pegada de carbono a carne brasileira.

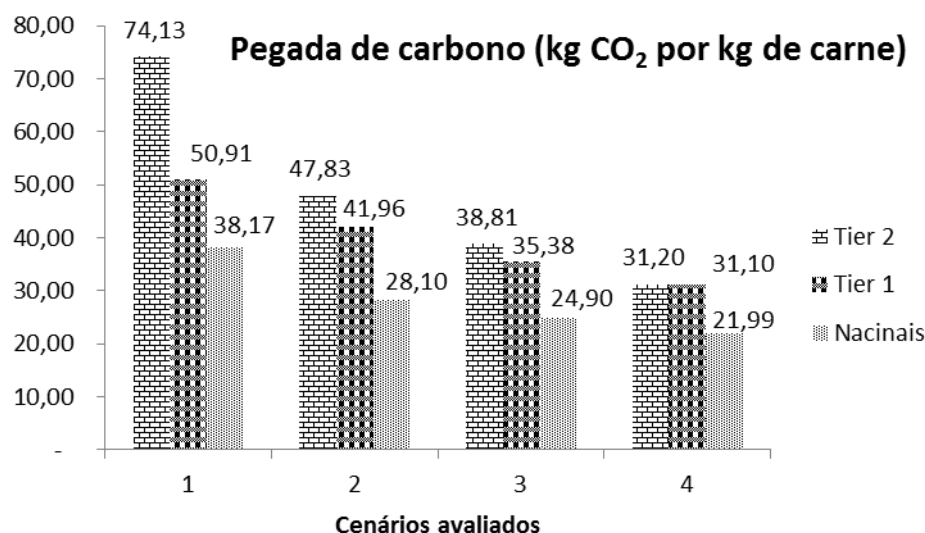


Figura 19 Pegada de carbono nos diferentes cenários avaliados e utilizando as metodologias no nível de detalhamento Tier 2, Tier 1 e pesquisas nacionais.

A participação das emissões de metano no total emitido para cada sistema sempre foi elevada, variando de 68,7% no cenário 4 utilizando a metodologia baseada no Tier 1 até 92,8% no total emitido pelo Cenário 1 utilizando a metodologia baseado no Tier 2. Figura (21).

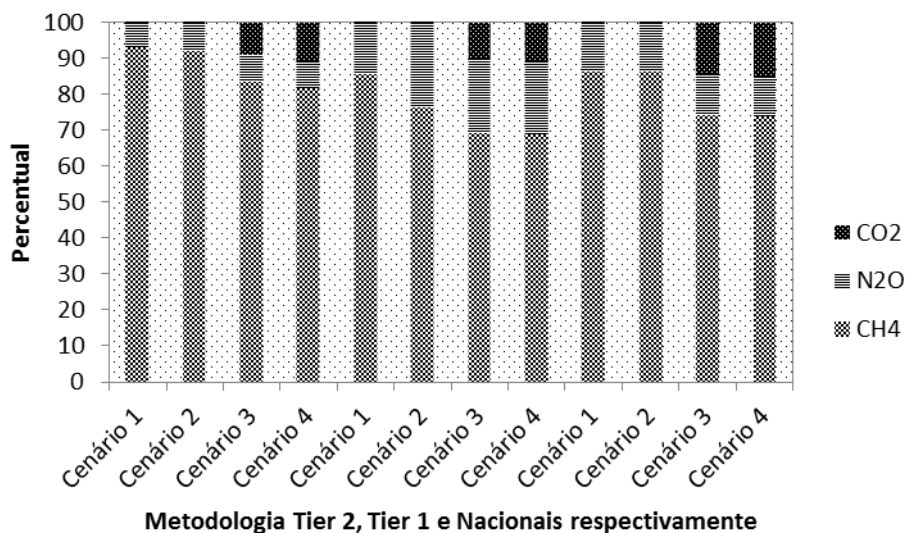


Figura 20 Peso de cada gás em percentual dentro da pegada de carbono em cada cenário avaliado. Da esquerda para a direita, os primeiros 4 cenários foi aplicada a metodologia nível de detalhamento Tier 2, em seguida o Tier 1 e finalmente os fatores nacionais.

Independente da metodologia utilizada os cenários avaliados apresentarma uma redução nas emissões em relação ao cenário menos intensivo (Figura 22). O Cenário 1 produção extensiva e com baixa tencnologia apresenta potencial de mitigação entre 17,58 e 57,9% nas emissões de GEE quando se eleva às condições semelhantes de produção ao Cenário 4. Ao compararmos o cenário médio brasileiro (Cenário 2) que se intensificado até as condições do Cenário 4 o potencial de mitigação varia de 21,77% a 34,76% no total emitido por quilo de carcaça. Os resultado mostraram que a intensificação do Cenário 3, fazendo-se a adoção do confinamento (Cenário 4) resulta em diminuição das emissões por unidade de

produto em 11,7 a 19,6%. Por outro lado, somente a utilização de um sistema extensivo com uso de sal mineral e um mínimo de manejo reprodutivo (Cenário 2) com um cenário extensivo em lugar do manejo e sem uso de tecnologia (Cenário 1) ainda é possível atingir um potencial de mitigação entre 17,7 e 35,4 %.

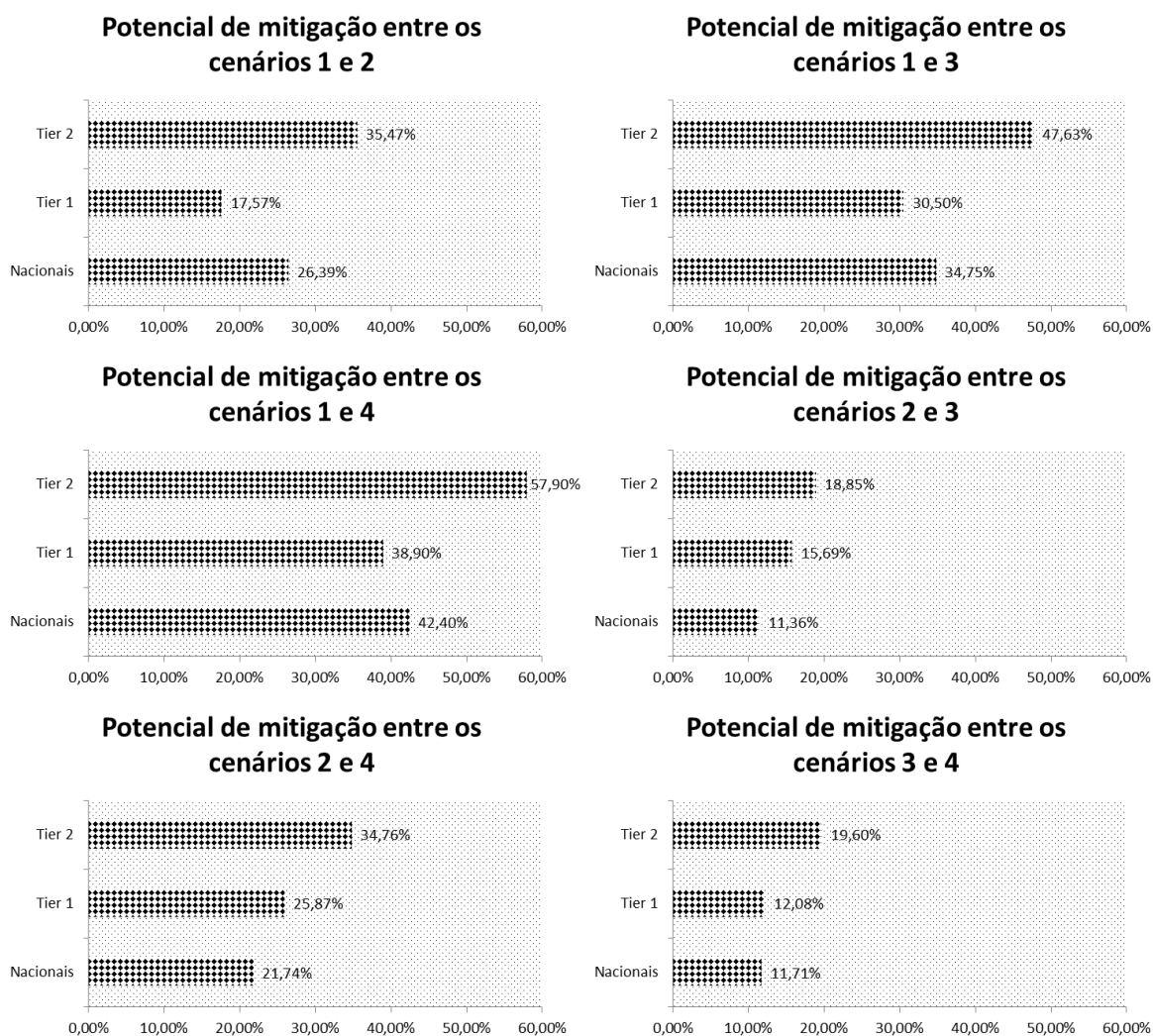


Figura 21 Potencial de mitigação das emissões por unidade de produto comparando os d cenários entre si e em relação às metodologias utilizadas que aplicou fatores de estudos nacionais, Tier 1 e Tier 2 do IPCC (2006).

O governo brasileiro assumiu um compromisso voluntário de redução nas emissões de GEE durante a reunião da COP 15 e entre as principais medidas está a redução no desmatamento da Amazônia e do Cerrado, o incentivo da adoção do plantio direto e de sistemas integrados de produção animal e vegetal, sendo últimos objetos de um. programa governamental denominado de Agricultura de Baixo Carbono (BRASIL, 2012). A adoção do governo brasileiro da recuperação de pastagens e a integração lavoura pecuária como estratégia de redução da emissões de GEE está correta, uma vez que ambos proporcionam melhorias nos índices de produtividade e mais ainda proporciona uma intensificação que aponta ser uma estratégia para mitigação do gases de efeito estufa no Brasil ratificando a hipótese de CEDERBERG et al., (2011). No Canadá estratégia semelhante foi proposta por BEAUCHEMIN et al., (2011) que mostraram pela análise do ciclo de vida que melhorias no manejo e alimentação do animal proporcionam redução na emissão dos GEE.

O sequestro de carbono que ocorre em áreas de pastagens bem manejadas como nos cenários 3 e 4 leva a uma redução na pegada de carbono entre 40% e 68% (Tabela 45), o que permite concluir que o sequestro de carbono pelas pastagens é uma forma de mitigar as emissões de gases de efeito estufa pela pecuária como foi preconizado por SOUSSANA et al., (2010).

Tabela 45 Emissões de CO₂eq por kg de carcaça sem e com a inclusão do sequestro de carbono pelo solo. Mitigação potencial em percentual em função da inclusão do sequestro de carbono pelo solo.

Cenário/ metodologia	Sem sequestro	Com sequestro	Mitigação
	kg de CO ₂ eq	kg carcaça	
Cenário 3 Tier 2	38,81	23,18	- 40,25%
Cenário 3 Tier 1	35,38	19,75	- 36,76%
Cenário 3 Nacional	24,9	9,28	- 44,16%
Cenário 4 Tier 2	31,2	19,73	- 48,08%
Cenário 4 Tier 1	31,1	16,14	- 62,73%
Cenário 4 Nacional	21,99	10,51	- 52,17%

A associação entre a intensificação da bovinocultura de corte e o sequestro de carbono pelos solos encontrado por MAIA et al., (2009) possibilitou valores potenciais de mitigação máximo de 83,92% quando a mudança do cenário mais extensivo (Cenário 1) para o cenário mais intensivo de produção (Cenário 4). Figura 23. E o menor de 14,91% entre os cenários 3 e 4.

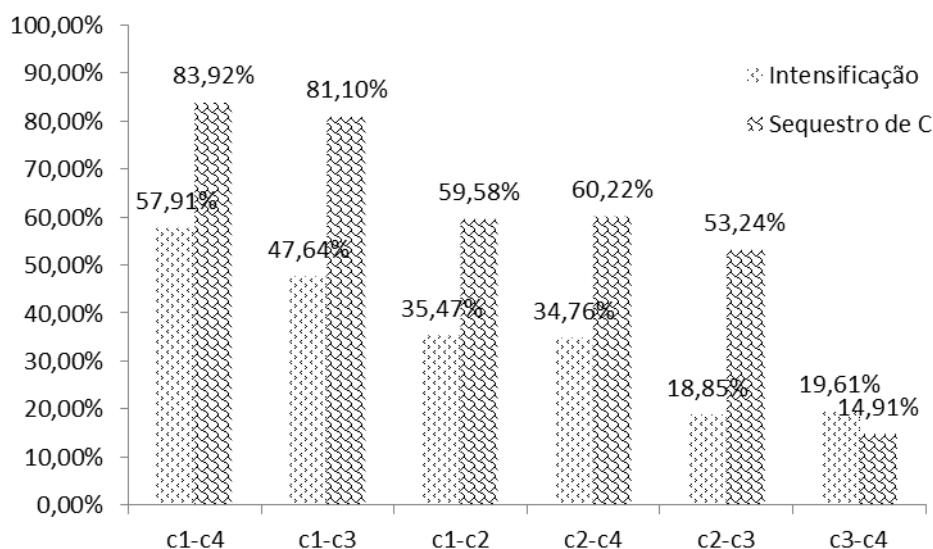


Figura 22 Potencial de mitigação em percentual entre os diferentes cenários (C1, C2, C3 e C4 correspondem aos Cenários avaliados e suas respectivas interação). Considerando apenas a intensificação e quando incluso o sequestro de Carbono pelo solo.

Pegadas de CO₂eq por kg de carcaça próximos a 10 kg foram encontrados nas melhores condições de produção da Europa e Estados Unidos. (NGUYEN et al., 2010; WILLIAMS et al., 2006; CEDERBERG et al., 2009 b), conforme é mostrado na Figura 24. O que proporciona uma menor pegada de carbono nos demais países produtores de carne quando comparados com o Brasil são as diferenças na alimentação, manejo e genética que

proporcionam melhores ganhos em termos de produtividade de carne (COHN et al., 2011). O Brasil ainda apresenta índices produtivos muito baixos e, portanto potencial maior de mitigar suas emissões de GEE da pecuária de corte através da intensificação da produção.

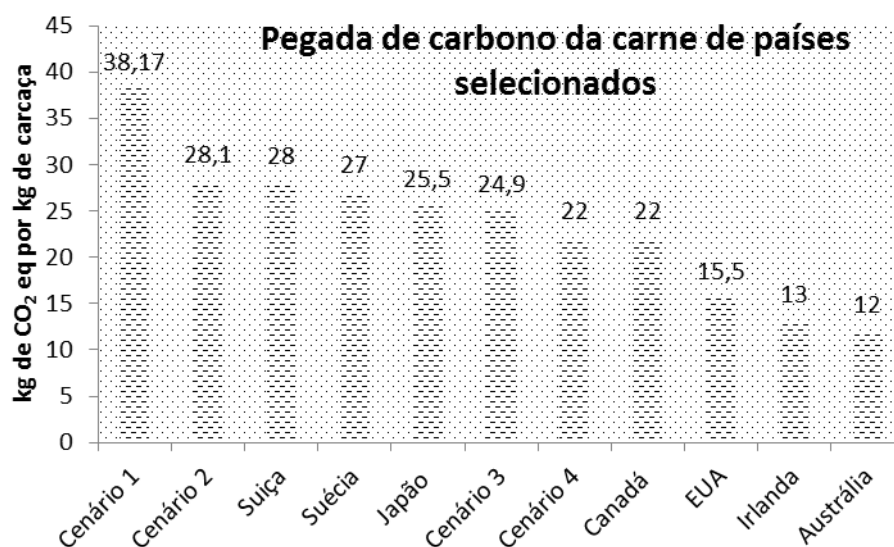


Figura 23 Pegada de carbono para produzir um quilo de carne bovina em diferentes países selecionados e os valores calculados para o Brasil em diferentes cenários de produção.

País e respectivo estudo publicado. Suíça (Cederberget et al., 2011), Suécia (Willians et al., 2006), Japão (Ogino et al., 2004), Canadá (Beauchemin et al., 2010), EUA (Phetteplace et al., 2001), Irlanda (Casey e Holden., 2006) e Austrália (Peters et al., 2010).

5. CONCLUSÕES

Frente aos diferentes cenários avaliados e as metodologias aplicadas, pode-se afirmar que:

A adoção de sistemas mais intensivos de produção, inclusive com adoção de confinamento, reduziu a emissão de GEE por produto.

A redução de GEE por produto ocorre em função de uma melhoria na alimentação, nos índices zootécnicos, produção de pastagem, taxas de lotação e redução da idade média de abate.

Independente da metodologia aplicada a intensificação proporciona potencial de mitigação.

A associação entre intensificação e sequestro de carbono pelo solo apresenta um potencial de mitigação maior ainda.

O uso de insumos nas pastagens proporciona maior emissão de GEE que por sua vez é compensada pelo sequestro de carbono do solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, L.G.; ELER, J.P.; COSTA, M.J.R.P. Produção de leite e desempenho do bezerro na fase de aleitamento em três raças bovinas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.22, n.5, p.745-754, 1993.
- ALENCAR, M.M., RUZZA, F.J., PORTO, E.J.S. Desempenho produtivo de fêmeas das raças Canchim e Nelore. III. Produção de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**.v. 17, n.4, p. 317-328, 1988.
- ALVES, B. J. R.; SANTOS, J. C. F.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Métodos de Determinação do Nitrogênio Em Solo e Planta. In: Araújo, R. S.; Hungria, M. (Org.). **Manual de Métodos Empregados em Estudos de Microbiologia Agrícola**. Brasília, 1994, p. 449-469.
- ALVES, B. J. R.; SMITH, K. A.; FLORES, R. A.; CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, W. R. D.; JANTALIA, C. P. J; URQUIAGA, S. & BODDEY, R. M. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N₂O flux from soil. **Soil Biology & Biochemistry**. 46 (2) p 12-19, 2012
- ANDERSON-TEIXEIRA, C.J.; DAVIS, C.D.; MASTERS, M. D.; DELUCIA, E. H. Changes in soil carbon under biofuels crops. **Global Change Biology**, Oxford, v. 1, p. 75-96, 2009.
- ASSOCON. 2008
Disponível em: www.assocon.com.br/pdf/confinamento_bras_feicorte.pdf
- ASSOCON. Associação Nacional de Confinadores. 2012.
Disponível em: <http://www.assocon.com.br/downloads/>
Accessed in: 04/01/2012
- BARTON, L.; KIESE, R.; GATTER, D.; BUTTERBACK-BAHL, K.; BUCK, R.; HINZ, C. e MURPHY, D. V. Nitrous oxide emissions from a cropped soil in a semi-arid climate. **Global Change Biology**. 14, 177-192, 2008
- BEAUCHEMIN, K. A. & MCGINN, S. M. Methane emissions from feedlot cattle fed barley or corn diets. **Journal of Animal Science**. 83, 3 653-661. 2005
- BEAUCHEMIN, K. A.; JANZEN, H. H.; LITTLE, M.; McALLISTER, T. A. e MCGINN, M. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. **Agricultural System**, 103, 371-379, 2010.
- BEAUCHEMIN, K. A.; JANZEN, H. H.; LITTLE, M.; McALLISTER, T. A. e MCGINN, M. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada – Evaluation using farm-based life cycle assessment. **Animal Feed Science and Technology** 166-167. P 663-677, 2011.
- BERCHIELLI, T. T.; PEDREIRA, M. S.; OLIVEIRA, S. G.; PRIMAVESI, O; LIMA, M. A.; FRIGHETTO, R. 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 Nutrição de Ruminantes**: 4p, (código 6_224442_6_Telma, pdf).

BODELIER, P. L. E.; LAANBROEK, H. J. Nitrogen as a regulatory factor of methane oxidation in soil and sediments. **Microbiology Ecology**, New York, v. 47, p. 267-277. 2004

BODDEY, R. M.; XAVIER, D.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S... Brazilian Agriculture: The Transition to Sustainability. **Journal of Crop Production**, New York, USA, v. 9, n. 1/2, p. 593-621, 2003.

BODDEY, R. M.; MACEDO, R.; TARRÉ, R.M.; FERREIRA, E. ; OLIVEIRA, O. C. de; REZENDE, C. de P.; CANTARUTTI, R. B.; PEREIRA, J. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S..Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: The key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 389-403, 2004.

BOWMAN, A. F. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. In A. F. Bouwman (ed.), **Soil and the Greenhouse Effect**, New York, John Wiley & Sons, pp. 61-127. 1990

BRAGA, G. J. **Sequestro de Carbono em Pastagens Cultivadas**. Publicação Online. Disponível em: www.apta regional.sp.gov.br. Consultado em 23/08/2010.

BRASIL. **Nationally Appropriate Mitigation Actions**. 2010. Disponível em: www.casacivil.gov.br

BRAZ, S. P.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; CANTARUTTI, R. B.; REGAZZI, A. J; MANRTINS, C. E; DA FONSECA, D. M. & BARBOSA, R. A. Aspectos Quantitativos do Processo de Reciclagem de Nutrientes pelas Fezes de Bovinos sob Pastejo em Pastagens de *Brachiaria decumbens* na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.31, n.2, p. 858-865, 2002 (suplemento).

BRITISH COUNCIL. **Mercado de Carbono**. 2012. Disponível em: www.britishcouncil.org

BUSTAMANTE, M.M.C.; CORBEEL, M.; SCOPEL, E.; ROSCOE, R. Soil carbon and sequestration potential in the Cerrado Region of Brazil. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, C.E.P. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Food Products Press, 2006. P. 285-304.

CAPPER, J. L.; CADY, R. A. & BAUMAN, D. E. The environmental impact of dairy production: 1994 compared with 2007. **Journal of Animal Science**, 87: 2160-2167. 2009

CARDOSO, A. N.; SAMINEZ, T. C.; VARGAS, M. A. Fluxo de Gases-traço de Efeito Estufa na Interface Solo/Atmosfera em Solos de Cerrado. **Bol. Pesq. Desenv.** Embrapa Cerrados, Planaltina, n. 17, p. 1-23. 2001.

CARVALHO, J. L. N. **Dinâmica do carbono e fluxo de gases de efeito estufa em sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia e no Cerrado**. 141p Tese (Doutorado)

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

CASEY, J. W. & HOLDEN, N. M. Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production in Ireland. **Agr. System**, 90, 97-114. 2005

CASEY, J. W. & HOLDEN, N. M. Greenhouse Gas Emissions Conventional, Agri-Environmental Scheme, and Organic Irish Suckers-Beef Units. **J. Environ. Qual.** 35: 231-239, 2006

CEDERBERG, G.; MEYER, D.; FLYJÖ, A. Life Cycle Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Use of Energy and Land in Brazilian Beef Production; **SIK-report 792**; The Swedish Institute of Food and Biotechnology: Gothenburg, Sweden, 2009 a.
Disponível em: <http://www.sik.se/archive/pdf-filer-katalog/SR792.pdf>

CEDERBERG, C.; SONESSON, U.; HENRIKSSON, M.; SUND, V.; DAVIS, J. **Greenhouse gas emissions from Swedish production of meat, milk and eggs 1990 and 2005; SIK-report 793**; The Swedish Institute of Food and Biotechnology: Gothenburg, Sweden, 2009 b.
Disponível em: <http://www.sik.se/archive/pdf-filer-katalog/SR793.pdf>

CEDERBERG, C. PERSSON, U. M; NEOVIUS, K; MOLANDER, S & CLIFT, R. Including Carbon Emission from Deforestation in the Carbon Footprint of Brazilian Beef. **Environmental Science & Technology**, v 45, 1773-1779. 2011

CERDÓTES, L. **Regime alimentar pós-parto e idade ao desmame no desempenho de vacas e bezerros de corte**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 195 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

CERDOTES, L.; RESTLE, J. ; FILHO, D. C. A. Produção e composição do leite de vacas de quatro grupos genéticos submetidos a dois manejos alimentares no período de lactação. **Rev. Bras. Zootec.**, V. 33, nº 3 p 610-622, 2004

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; FEICL, B.J.; PICCOLO, M. C. Carbon stocks in soils of the Brazilian Amazon. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLET, R.; STEWART, B.A. **Global climate change and tropical ecosystems**. Boca Raton: CRC Press, 1999. P. 33-50. (Advances in Soil Science).

CERRI, C.E.P.; PAUSTIAN, K.; BERNOUX, M.; VICTORIA, R.L.; MELLILO, J.M.; CERRI, C.C. Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the Century model. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, p. 815-832, 2004.

CERRI, C.C.; MAIA, S.M.F.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 6, p. 831-843, 2009.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; MAIA, S. M. F.; CERRI, C. E. P.; JUNIOR, C. C.; FEILG, B. J.; FRAZÃO, L. A.; MELLO, F. F. De C.; GALDOS, M. V.; MOREIRA, C. S.; CARVALHO, J. L. N. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Sci. Agric. Piracicaba**, v. 67, n. 1, p. 102-116, 2010.

CHIANESE, D. S.; ROTZ, C. A.; RICHARD, T. L. Simulation of nitrous oxide emissions from dairy farms to assess greenhouse gas reduction strategies. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, Saint Joseph, v. 52, p. 1325-1335, 2009.

CHIAVEGATO, M. B. **Fluxo de gases de efeito estufa no solo com deposição de fezes e urina de bovinos de corte na região Sudoeste da Amazônica**. 2010. Dissertação (Mestrado Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo. 102 f. 2010.

CICERONE, R.J., 1987.Changes in stratospheric ozone. **Science** (Washington, DC) 237, 35–42.

COHN, A; BOWMAN, M.; ZILBERMAN, D. R. & O'NEILL, K. The viability of cattle ranching Intensification in Brazil as a Strategies to Spare Land and Mitigate Greenhouse Gas Emissions. Working Paper N° 11. **University of Copenhagen**.35 p. 2011.

CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T.; Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. **Ecological Application** 11, 343-355. 2001.

COSTA, E. C. Crescimento **Pós-Desmama e taxa de prenhez de novilhos de corte acasaladas ao 18 meses de idade**. UFRGS. Porto Alegre- RS, 2006, 152 p (Tese de doutorado em Zootecnia).

CRUTZEN, P.J. Influence of nitrogen oxides on atmospheric ozone content. **Q. J. Roy. Meteor. Soc.** 96, 320–325. 1970.

CRUTZEN, P. J.; ASELMANN, I & SEILER, W. Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna and humans. **Tellus B**. 38B, 271-284. 1986.

CRUZ, G.M.; ALENCAR, M.M.; TULLIO, R.R. Produção e composição do leite de vacas das raças Canchim e Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.5, p.887-893, 1997.

DELMAS, R.; SERCA, D. & JAMBERT, C. Global inventory of NO_x sources. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 48, 51-60. 1997

DEMARCHI, J. J. A. A.; MANELLA, M. Q.; LOURENÇO, A. J.; ALLEONI, G. F.; FRIGHETTO, R. S.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M. A. Daily methane emission at different seasons of the year by Nelore cattle in Brazil grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Preliminary results. In: WORLD CONFERENCE ON ANIMAL PRODUCTION, 9, 26-31/10/2003, Porto Alegre – RS, Brazil. **Proceedings**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zootecnia/World Association of Animal Production, CD-ROM: Session – Ruminant Nutrition, 3p. 2003 a

DEMARCHI, J. J. A. A.; MANELLA, M. Q.; LOURENÇO, A. J.; ALLEONI, G. F.; FRIGHETO, R. T. S.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M. A. Preliminary results on methane emissions by *Nelore* cattle in Brazil grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. In: INTERNATIONAL METHANE AND NITROUS OXIDE MITIGATION CONFERENCE, 3rd., Beijing. **Proceedings**. 80-84. 2003 b

DEMEYER, D. I. and VAN NEVEL, C. J. Methanogenesis, an integrated part of carbohydrate fermentation, and its control. Pages 366-382 in I. W. McDonald and A. C. I. Warner, eds. **Digestion and metabolism in the ruminant. Proceedings of the IV International Symposium on Ruminant Physiology**. The University of New England Publishing Unit, Sydney, Australia. 1975.

DE MOURA ZANINE A.; SANTOS, E. M.; FERREIRA, D. J & CARVALHO, G. G. P. Potencialidade da integração lavoura-pecuária: relação planta animal. **Revista Electronica de Veterinária REDVET**, v VII, 1. 2006

DENMEAD, O.T.; LEUNING, R.; JAMIE, I.; GRIFFITH, D. W. T. Nitrous oxide emissions from grazed pastures: measurements at different scales. **Chemosphere Global Change Science**, Canberra, v. 2, p. 301-312, 2000.

DENMEAD, O. T; MacDONALD, B. C. T; BRYANT, G. Emissions of methane and nitrous oxide from Australian sugarcane soil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 748-756. 2010.

DE OLIVEIRA, O. C.; DE OLIVEIRA, I. P.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Chemical and biological indicators of decline/degradation of *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrados. **Agric., Ecosystem. Environ.** 103, 289-300. 2004.

EMBRAPA MILHO E SORGO. Sistemas de Produção, 1. Out/2011.
Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/index.htm

EMBRAPA SOJA. Sistemas de Produção, 15. Out/2011. Tecnologia de Produção de Soja – Região Central do Brasil 2012-2013.
Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/SP15-VE.pdf>

ERENO, R. L.; BARREIROS, T. R. R.; SENEDA, M. M. et al. Taxa de prenhez de vacas nelore lactantes tratadas com progesterona associada à remoção temporária de bezerros ou aplicação de gonadotrofina coriônica equina. **R. Braz. Zootec.**, v. 36, n. ° 5, p. 1288-1294, 2007.

ESPASANDIN, A. C.; PACKER, I. V.; ALENCAR, M. M. Comportamento de amamentação e produção de leite de vacas nelore em diferentes sistemas de produção e cruzamentos. III Simpósio Nacional de Melhoramento Animal. **Anais...** Piracicaba - SP, 2002.

EUCLIDES FILHO, K.; EUCLIDES, V. P. B.; FIGUEIREDO, G. R. Avaliação de animais Nelore e seus mestiços com Charolês, Fleckvieh e Chianina, em três dietas. 1. Ganho de peso e conversão alimentar. **Revista Brasileira de Zootecnia**. V. 26, p. 66-72, 1997.

FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 108, p. 147-166, 1998.

FERRAZ, J. B. S. & FRIES, L. A. 2004
Disponível em: <<http://www.sbmaonline.org.br/anais/v/palestras/palest07.pdf/>>.

FERRAZ, J. B. S & FELÍCIO, P. E. Production systems – Na example from Brazil. **Meat Science** 84, 238-248. 2010

FIRESTONE, M.K.; DAVIDSON, E. A. Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In: Andrea e M.O. and Schimel D. S. (Eds), **Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere**. John Wiley & Sons, Chichester, 1989, pp. 7-21.

FOLLETT, R.F. & SCHUMAN, G. E. Grazing land contributions to carbon sequestration (invited Keynote paper for the 2005 International Grassland Congress, Belfast, Ireland). In: McGilloway, D. A. **Grazing land: a global resource**. Wageningen, The Netherlands Wageningen Academic Publishers, 266-277. 2005

FORSTER, P., V. RAMASWAMY, P. ARTAXO, T. BERNTSEN, R. BETTS, D.W. FAHEY, J. HAYWOOD, J. LEAN, D. C. LOWE, G. MYHRE, J. NGANGA, R. PRINN, G. RAGA, M. SCHULZ AND R. VAN DORLAND. Changes in atmospheric constituents and in radioactive forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Bases. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Avert, M. Ignorant H.L. Miller (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007

FRIES, L. A. & FERRAZ, J. B. S. Beef cattle genetic programmes in Brazil. In: **Proceedings of the 8th world congress on genetics applied to livestock production**. CD Rom Belo Horizonte, Brazil. 2006

FRISCH; O'Neill. E. H. G. AGROFARMA. 1996a.

Disponível em: <<http://www.ehgagrofarma.com.br/produto.asp?d=61&s=97&p=861>>. Acesso em: 15 fevereiro. de 2011.

FRISCH; O'Neill. E. H. G. INTERVET. 1996 b.

Disponível em:<<http://www.reivet.com.br/detalhes.asp?id=84>>. Acesso em: 15 fevereiro. de 2011.

FRISCH; O'Neill. E. H. G. AGROFARMA. 1996c.

Disponível em: <<http://www.ehgagrofarma.com.br/produto.asp?d=61&s=97&p=863>>. Accessedin: 02 mar. de 2011.

GONZÁLEZ-AVALOS, E. & RUIZ-SUÁREZ, L. G. Methane emission factors from cattle manure in Mexico. **Bioresource Technology**. 80:1, 63-71, 2001.

GOUVELLO, C; SORES-FILHO, B. S & NASSAR, A. **Estudo de Baixo Carbono para o Brasil. Uso da Terra, Mudanças do Uso da Terra e Floresta**. Banco Mundial. 288p. 2010

GRAINGER, C. & BEAUCHEMIN, K. A. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? **Animal Feed Science and Technology**. Volumes 166-167: 308-320, 2011

GRANLI T. AND BØCKMAN O.C. 1994. Nitrous oxide from agriculture. **Norw. J. Agric. Sci.**, Suppl. 12: 7–128.

GRECELLÉ, R. A.; BARCELLOS, J. O.J.; NETO, J. P. et al. Taxa de prenhez de vacas nelore x hereford em ambiente subtropical sob restrição alimentar. **R. Bras. Zootec.** v. 35, n.º 4, p 1423-1430, 2000.

HUTSCK, B. W. Methane oxidation, nitrification, and counts of methanotrophic bacteria in soils from a long-term fertilization experiment (“Ewiger Roggenbau” at Halle). **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 164, p. 21-28, 2001.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário: 1995-1996. Rio de Janeiro, 1998. Disponível em: www.ibge.gov.br

IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**. Escala 1: 5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>. Acesso em: 16 ago. 2010.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**, Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Rio de Janeiro, Fundação IBGE, p. 1-777, 2006.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal 2010**. Fundação IBGE. 2011
Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/default.shtm>

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil**. Instituto Nacional de Meteorologia. 465 p. 2019

IPCC, 1997. **Greenhouse Gas Inventories**. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Disponível em <www.ipcc.ch> Acesso em 03/03/2010

IPCC, 2000. **IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories**. .
Disponível em <www.ipcc.ch> Acesso em 03/03/2010

IPCC **Guideline for National Greenhouse Gas Inventories** (2006).
Disponível em <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/2006>> Acesso em 15 de agosto de 2010.

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. .United Nations Environment Programmers. **Assessment report 4; Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC, Geneva, CH. 2007 a

IPCC. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. 2007b.

JARVIS, S.C.; LOVELL, R. D.; PANAYIDES, R. Patterns of methane emissions from excreta of grazing cattle. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, p. 1581-1588, 1995.

JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. **J. Anim. Sci.** V73, p. 2483-2492, 1995.

JOHNSON, D. E.; PHETTEPLACE, H. W.; SEIDL, A. F.; SCHNEIDER, U. A. & McCARL, B. A. Management variations for US beef production systems: effects on greenhouse gas emissions and profitability. In: Proceedings of the 3rd International Methane and Nitrous Oxide Mitigation Conference; 2003 November 17-21; Beijing, China. Coal Information Institute, Beijing, China, pp. 953-961. 2003.

KAHN, H.; WIENWER, A. J. The Year 2000. **A framework for speculation on the next thirty-three years.** New York: Macmillan, 1967. P. 262-264.

KAMMANN, C.; GRUNHAGE, L.; MULLER, C.; JACOBI, S. & JAGER, H. J. Seasonal variability and mitigation options for N₂O emissions from differently managed grasslands. **Environmental Pollution** 102: 179-186, 1998

KEBREAB, E.; FRANCE, J.; BEEVER, D. E. & CASTILLO, A. R. Nitrogen pollution by dairy cows and its mitigation by dietary manipulation. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 60: 275-285, 2001.

KEBREAB, E.; CLARK, K.; WAGNER-RIDDLE, C. & FRANCE, J. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: A review. **Can. J. Anim. Sci.** 86: 135-158. 2006.

KELLER, M., VELDKAMP, E., WEITZ, A.M. AND REINERS, W.A., 'Effect of pasture age on soil trace-gas emissions from a deforested area of Costa Rica', **Nature** 365, 244-246. 1993

KELLER, M. AND REINERS, W.A.: 'Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, nitric oxide and methane under secondary succession of pasture to forest in the Atlantic lowlands of Costa Rica', **Global Biogeochemical Cycles** 8, 399-409. 1994

KING, G. M.; ADAMSEN, P. S. Effects of temperature on methane consumption in a forest soil and in pure cultures of the methanotroph *Methylobacterium rubra*. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 58, p. 2758-2763. 1992.

KLEIN, C. A. M; ECKARD, R. J & VAN DER WEERDEN, T. J. **Nitrous Oxide Emissions in the Livestock Agriculture: Estimation and Mitigation.** In: Nitrous Oxide and Climate Change. Edited by Keith Smith. Earthscan. 2010

KLUTHCOUSKI, J. et al. **Integração lavoura-pecuária.** Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA-CNPAP, 2003. 570p.

KUNKLE, W. E.; SAND, R. S.; ERA, D. O. Effect of body condition on productivity in beef cattle. In: FILLDS, M. M.; SAND, R. S. (ed) **Factors affecting calf crop.** Boca Raton: CRC PRESS, 1994, p. 167-178.

KÜSTERMANN, B., KAINZ, M. HULSBERGEN, K. J. Modeling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. **Renew. Agr. Food Syst.** 23, 38-52. 2008

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington, v. 304, p. 1623-1627, 2004.

_____. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of The Royal Society B**. London, v. 363, p. 815-830, 2008.

LANDERS, J. Tropical crop-livestock systems in conservation agriculture. The Brazilian experience. **Integrated Crop Management V. 5** – 2007. Food and Agriculture Organization to the United Nations, Rome, Italy. 2007

LAUREN, J.; CARDOSO, A. N.; DUXBURY, J.; VARGAS, M.; AYARSA, M.; MATSON, P. Effects of agricultural development on methane uptake by soils: a temperate – tropical comparison. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA ANNUAL MEETING, 1995, St. Louis, Missouri. **Annual meeting abstracts**. St. Louis: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 1995.

LEDIC, I. L.; MACIEL, M. P.; O sistema de produção de leite do rebanho de Gir da Fazenda Experimental Getúlio Vargas. Resultados zootécnicos Nov/87 e out/88. In: Sociedade Brasileira de Zootecnia. Reunião Anual, 26., 1989. Porto Alegre-RS. **Anais...** Porto Alegre, 1989, p. 281.

LESSA, A. C. R. Produção de óxido nitroso e volatilização de amônia derivados da aplicação de urina e fezes bovinos em pastagens sobre Latossolo em Goiás. Dissertação de mestrado. Agronomia (Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2011

LODMAN, D. W., BRAINE, M. E., CARMEAN, B. R., ZIMMERMAN, P., WARD, G. M., JOHNSON, D. E. Estimates of methane emissions form manure of U.S. cattle. **Chemosphere** 26: 189-1993.

LOPES, C. N.; ZILIOTI, C.; ARAUJO T. Efeito do tratamento de Megalac^R e Megalac-E^R na taxa de prenhez em vacas nelore pós-parto submetidas a IATF. **Acta Scientiae Veterinariae**. V. 36, supl. 2, p. 616, 2008. (abstr)

LOVETT, D. K.; SHALLO, L DILLON, P. & O'MARA, F. P. A systems approach to quantify greenhouse gas fluxes from pastoral dairy production as affected by management regime. **Agr. Syst.** 88, 156-179. 2006

LIMA, M. A.; YOUNG PESSOA, M. C. P.; NEVES, M. C.; CARVALHO, E. C. **Emissões de Metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais**. Consulta pública. Ministério da Ciência e Tecnologia. 121 p. 2010

MAIA, S.M.F.; OGLE, S.M.; CERRI, C.E.P; C.C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and MatoGrosso states, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 149, p. 84-91, 2009.

MACHADO, R.; CARNEIRO, M. A.; BERGAMASCHI, M. et al. Taxas de serviço, concepção e prenhez de vacas nelore tratadas com gonadotrofina coriônica humana e 17 beta-estradiol após a inseminação artificial em tempo fixo. **Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.**, São Paulo, v. 45, n.º 3, p 221-230, 2008.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio 2010/2011 e 2020/2021 e Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono**. 2011
Disponível em: www.agricultura.gov.br

MARSHALL, D.A.; PARKER, W.R.; DINKEL, C.A. Factors affecting efficiency to weaning in Angus, Charolaise and reciprocal cross cows. **Journal of Animal Science**, v.43, p.1176-1187, 1976.

MARTINS CEZAR, I. **Sistema de Produção de Gado de Corte no Brasil: Uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate**. Documentos 151, Embrapa Gado de Corte.
Disponível em: www.cnpqc.embrapa.br/publicacoes/doc/doc151/index.htm

MATHEWS, B. W.; SOLLENBERGER, L. E. Grazing systems and spatial distribution of nutrients in pastures: soil considerations. In: JOOST, R.; ROBERTS, C. A. **Nutrient Cycling In Forage Systems**. Columbia, p. 213-229, 1996.

McALLISTER, T. A.; OKINE, E. K.; MATHISON, G. W. and CHENG, K. J. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. **Can. J. Anim. Sci.** 76: 231-243. 1996.

McKENZIE, D. **Soil Carbon Sequestration under Pasture in Southern Australia**. Dairy Australia Soil Carbon Report. 43 p. 2010

MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Segundo Comunicado Nacional das Emissões de Gases de Efeito Estufa**. 2011.
Disponível em: www.mct.gov.br

MELTON, A.A., RIGGS, J.K., NELSON, L.A. Milk production, composition and calf gain of Angus, Charolaise and Hereford cows. **Journal of Animal Science**, v.26, p.804-809, 1967.

MILLS, J. A. N., DIJKSTRA, J., BANNINK, A., CAMMELL, S. B., KEBREAB, E. and FRANCE, J. Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cows. **J. Anim. Sci.** 81: 3141-3150. 2003.

MISSELBROOK, T. H.; BROOKMAN, S. K. E.; SMITH, K. A.; CUMBRY, T.; WILLIAMS, A. G.; McCRORY, D. F. Crusting of stored dairy slurry to abate ammonia emissions: pilot-scale studies. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.34, p. 411-419. 2005

MONTANHOLI, Y. R.; BARCELLOS, J. O. J.; BORGES, J. E. Ganho de peso na recria e desempenho reprodutivo de novilhos acasaladas com sobreano. **Pesq. Agropec. Brás.**, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1253-1259, 2004.

MONTEIRO, R. B. N. C. **Desenvolvimento de um modelo para estimativas da produção de gases de efeito estufa em diferentes sistemas de produção de bovinos de corte**. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo. Piracicaba. 75 p. 2009

MOREIRA, A. L.; PEREIRA, O. G.; GARCIA, R. Produção de Leite, consumo e digestibilidade aparente dos nutrientes, pH e concentração de Amônia ruminal em vacas lactantes recebendo rações contendo silagem de milho e fenos de alfafa e de capim Coast Cross. **Rev. Bras. Zootec.**, v30, n.º 3 1089-1098, 2001. (suplemento 1)

MOSIER, A. R.; SCHIMEL, D.; VALENTINE, D.; BRONSON, K.; PARTON, W. Methane and nitrous oxide fertilized and cultivated grasslands. **Nature**, Londres, v. 350, p. 330-332, 1991.

MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT L.; KING J.; PALM C. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. **Environment, Development and Sustainability** vol 6, p. 11–49, 2004.

MOSS, A. R. **Methane: global warming and production by animal**. Chalcombe Publications. Kent, U. K. 105 pp. 1993

MOSS, A. R; JOUANY, J. P & NEWBOLD, J. Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. **Ann. Zootech.**, 49: 231-253. 2000

MOURA, J. F. P. **Avaliação do Desempenho Produtivo e reprodutivo do Gado Sindi no Semiárido Paraibano** (Dissertação) Mestrado em Zootecnia – Universidade Federal da Paraíba. Areia-PB, 2002. 42 p.

MOURA, J. F. P. **Índices zootécnicos e econômicos relativos à exploração de bovinos zebus em uma propriedade no semiárido paraibano**. Areia, 77p, 2005. (Tese de doutorado em Zootecnia)

NASCIMENTO, C.F.M. **Emissão de metano por bovinos Nelore ingerindo *Brachiaria brizantha* em diferentes estádios de maturação**. Pirassununga: USP-FMVZ, 2007, 65p. (Dissertação de mestrado, Nutrição e Produção Animal).

NASCIMENTO, C.F.M.; DEMARCHI, J.J.A.A.; BERNDT, A.; RODRIGUES, P.H.M. Methane emissions by Nelore beef cattle consuming *Brachiaria brizantha* with different station of maturation. In: **Proceedings of the Greenhouse gases and Animal Agriculture Conference**, Christchurch, NZ, November, p. 64-65, 2007.

NEVISON, C. D. & HOLLAND, E. A. A re-examination of the impact of anthropogenically fixed nitrogen on the atmospheric N₂O and the stratospheric O₃ layer. **Journal of Geophysical Research** 102: 25519-25536. 1997

NGUYEN, T. L. T.; HERMANSEN, J. E.; MOGENSEN, L. Environmental consequences of different beef production systems in Europe. **J. Cleaner Prod.** 18 (8), 756-766, 2010.

NKRUMAH, J. D., OKINE, E. K., MATHISON, G. W., SCHMID, K., LI, C., BASARAB, J. A., PRICE, M. A., WANG, Z. & MOORE, S. S. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **J. Anim. Sci.** 84: 145-153. 2006.

OGINO, A.; KAKU, K.; OSADA, T.; SHIMADA, K. Environmental impacts of the Japanese beef-fattening system with different feeding lengths as evaluated by a life-cycle assessment method. **J. Anim. Sci.** v 72(7), 2115-2122. 2004

OGINO, A.; ORITO, H.; SHIMADA, K. & HIROOKA, H. Evaluating environmental impacts of the Japanese beef cow-calf system by the life cycle assessment method. **Anim. Sci. J.** 78, 424-432. 2007

OJIMA, D. S.; VALENTINE, D. W.; MOSIER, A. R.; PARTON, W. J.; SCHIMEL, D. S. Effect of land use change on methane oxidation in temperate forest and grassland soils. **Chemosphere**, Oxford, UK, 26, p. 675-685, 1993.

OLIVEIRA, S.G.; BERCHIELLI, T.T.; PEDREIRA, M.S.; PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R.; LIMA, M.A. Effect of tannin levels in sorghum silage and concentrate supplementation on apparent digestibility and methane emission in beef cattle, **Animal Feed Science and Technology**, v.135, n.3, 2007 a.

OLIVEIRA, V. C.; FONTE, C. A. A.; SIQUEIRA, J. G. . Produção de leite e desempenho dos bezerros de vacas Nelore e mestiças. **R. Bras. Zootec.**, v. 36, n.º 6, p 2074-2081, 2007 (supl.)

OLIVEIRA, W. C. **Comparação da taxa de prenhez de vacas paridas e de novilhas da raça nelore submetidas ao mesmo protocolo de sincronização de cio.** Instituto de pós-graduação em medicina veterinária. São José do Rio Preto-SP, 2007, 16 p .(Monografia de especialização em Medicina Veterinária)

PAULINO, VT; TEIXEIRA, E.M.L. **Sustentabilidade de pastagens – manejo adequado como medida redutora da emissão de gases de efeito estufa.** 2010. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2010_1/pastagens/index.htm>. Acesso em: 27/8/2010

PEDREIRA, M.S.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M.A.; FRIGHETTO, R.; OLIVEIRA, S.G.; BERCHIELLI, T.T. 2009. Ruminal methane emission by dairy cattle in Southeast Brazil. **Scientia Agricola** 66: 742-750.

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: UNESP-FCAV, 2004, 162p. (Tese de doutorado, em Zootecnia).

PEIXOTO, L.A.O., BRONDANI, I.L., RESTLE, J. et al. Produção e composição do leite de vacas de corte de diferentes grupos genéticos, mantidas em pastagem natural ou suplementadas com farelo de trigo, com ou sem a inclusão de ureia. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia.** No prelo, 2004.

PEIXOTO, L. A. O. **Desempenho produtivo, reprodutivo e perfil metabólico proteico de vacas de corte suplementadas no pós-parto.** Santa Maria, 155p, 2004. (Dissertação de Mestrado em Zootecnia.)

PERON, A. J. & EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 3, p. 655-661, maio/jun., 2004

PETERS, G. M.; ROWLEY, H. V.; WIEDEMANN, S.; TUCKER, R.; SHORT, M. D. & SCHULZ. Red Meat Production in Australia: Life Cycle Assessment and Comparison with Overseas Studies. **Environ. Sci. Technol.** 44, 1327-1332, 2010

PHETTEPLACE, H. W.; JOHNSON, D. E. & SEIDL, A. F. Greenhouse gas emissions from simulated beef and dairy livestock systems in the United States. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. 60: 99-102, 2001

POSSENTI, R.A. **Efeitos de dietas com *Leucaena leucocephala* com ou sem adição de *Sacharomyces cerevisiae* na digestão, fermentação, protozoários e produção de metano no rúmen em bovinos**. Pirassununga: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, 2006, 100p. (Tese de doutorado, em Zootecnia).

POWLSON, D. S.; WHITMORES, A. P. & GOULDING, W. T. Review: Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify true and the false. **European Journal of Soil Science**, 62, 42-55. 2011

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**, Brasília, v.39, n.3, p.277-283, mar, 2004a

PRIMAVESI, O.; PEDREIRA, M.S., FRIGHETTO, R.T.S.; LIMA, M.A.; BERCHIELLI, T.T.; OLIVEIRA, S.G.; RODRIGUES, A. A.; BARBOSA, P.F. **Manejo alimentar de bovinos leiteiros e sua relação com produção de metano ruminal**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004b. 21p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Circular Técnica, 39).

QUEIROZ, S. B. B. de. Avaliação do comportamento produtivo de um rebanho sindi e guzerá no Estado da Paraíba. Encontro de Iniciação Científica da UFPB, 4, João Pessoa-PB. **Anais...**João Pessoa, 1996. P. 105.

RAMANATHAN, V., 1998.Trace-gas greenhouse effect and global warming – underlying principles and outstanding issues. **Ambio** 27, 187–197.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. Solos do bioma cerrado: Aspectos pedológicos. In: SANA, S. M.; ALMEIDA, S. P. **Cerrado: Ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, p. 47-83. 1998.

REINHER, C. Períodos de parição e taxa de prenhez em vacas de corte. Porto Alegre (RS), 2007, 84 f (Dissertação de mestrado em Zootecnia)

RESTLE, J.; PACHECO, P. S.; MOLETTA et al. Grupo genético e nível nutricional pós-parto na produção e composição do leite de vacas de corte. **R. Bras. Zootec.**, v. 32, n.3 p. 585-597, 2003.

RIBEIRO, E.L.A. **Influência de diferentes sequências de pastagens na produção de leite e no desempenho de vacas de dois grupos genéticos**. Santa Maria: Universidade Federal de

Santa Maria, 1989. 149p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Santa Maria, 1989.

RIBEIRO, E.L.A.; RESTLE, J. Desempenho de terneiros Charolês e Aberdeen Angus puros e seus mestiços com Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.8, p.1145-1151, 1991.

RIBEIRO, E.L.A.; RESTLE, J.; PIRES, C.C. Produção e composição do leite de vacas Charolês e Aberdeen Angus amamentando bezerros puros ou mestiços. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.8, p.1267-1273, 1991.

ROBERTSON, G.P.; GRACE, P.R. Greenhouse gas fluxes in tropical and temperate agriculture: the need for a full-cost accounting of global warming potentials. **Environment, Development and Sustainability**, vol.6, p.51–63, 2004.

SAGGAR, S.; HEDLEY, C. B.; TATE, K. R. Methane sources and sinks in New Zealand grazed pastures. **New Zealand Soil News**, Christchurch, v. 51, p. 6-7, 2003.

SAGGAR, S., BOLAN, N.S., BHANDRAL, R., HEDLEY, C. B., LUO, J.A review of emissions of methane, ammonia, and nitrous oxide from animal excreta deposition and farm effluent application in grazed pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research** 47: 513-544. 2004

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S. & FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v. 43, n.1, p. 153-156, 2008.

SENNA, D.B. **Desempenho reprodutivo e produção de leite de vacas de quatro grupos genéticos, desterneiradas precocemente, submetidas a diferentes períodos de pastagem cultivada**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1996. 85p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Santa Maria, 1996.

SHERLOCK, R.R.; de KLEIN, C. A. M.; LI, Z.; **Determination of N₂O and CH₄ emission factors from animal excreta, following a summer application in 3 regions of New Zealand**. 2003. 27 p. (A final report of Nanzonet study prepared for Ministry of Agriculture and Forestry)

SILVA, M.V.G.B.; MARTINEZ, M.L.; LEMOS, A.M. Efeitos de meio ambiente sobre as características de produção de leite e gordura, percentagem de gordura e duração da lactação de um rebanho Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.24, n.2, p.317-325, 1995.

SILVA, R.M.N.; VALADARES, R.F.D.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Ureia para vacas em lactação. 2. Estimativas do volume urinário, da produção microbiana e da excreção de ureia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.6, p.1948-1957, 2001.

SILVA, M. D. **Desempenho reprodutivo de novilhos de corte acasaladas aos 18 ou 24 meses de idade**. 2003, 112 f., Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Programa de pós-graduação em Zootecnia da Faculdade de Agronomia – UFRGS.

SINGH et al. E. H. G.AGROFARMA.1988.

Disponível em: <<http://www.ehgagrofarma.com.br/produto.asp?d=61&s=97&p=861>>. Acesso em: 20 de fevereiro. de 2011.

SINGH et al. E. H. G. AGROFARMA. 1998

Disponível em: <<http://www.ehgagrofarma.com.br/produto.asp?d=61&s=97&p=861>>. Acesso em: 20 de fevereiro. de 2011.

SIQUEIRA NETO, M. **Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes manejos no Cerrado goiano**. 159 f. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de concentração: Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006.

SMITH, K. A.; McTAGGART, I. P. & TSURUTA, H. Emissions of N₂O and NO associated with nitrogen fertilization in intensive agriculture, and the potential for mitigation. **Soil Use and Management**.13, supplement 4, 296-304. 1997.

SOLOMONS, S., D. QIN, M, MANNING, R. B. et al. In: Climate Change 2007: The Physical Science Bases. Contributions of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007

SOUSA NETO, E.; CARMO, J. B.; KELLER, M.; MARTINS, S. C.; ALVES, L. F.; VIEIRA, S. A.; PICCOLO, M. C.; CAMARGO, P.; COUTO, H. T. Z., JOLY, C. A. e MARTINELLI, A. Soil-atmosphere Exchange of nitrous oxide, methane and carbon dioxide in a gradient of elevation in the coastal Brazilian Atlantic forest. **Biogeosciences**, 8, 733-742, 2011

SOUSSANA, J. F. Et al. Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 121, 121-134. 2007

SOUSSANA, J. F.; TALLEC, T. & BLANFORT, V. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. **Animal** 4:3, pp 334-350. 2010

SOTO BELLOSO, et al; Avaliação de Protocolo de Inseminação Artificial em Tempo Fixo utilizando eCG em Vacas Nelore Puras e Paridas. **Revista Eletrônica Veterinária REDVET**. Vol. VII, nº 2, febrero, 2006.

STEINFEL, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL. V; ROSALES, M & DE HAAN, C. **Livestock's long shadow: environmental issues and options**. Ed. Food and Agricultural Organization. 2006.

Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0701e/a0701e00.pdf>

STEUDLER, P. A.; MELILLO, J. M.; FEIGL, B. J.; NEILL, C.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. C. Consequence of forest-to-pasture conversion on CH₄ fluxes in the Brazilian Amazon Basis, **Journal of Geophysical Research**. Washington, v. 101, p, 547-554, 1996.

STEWART, A. A., LITTLE, S. M.; OMINSKI, K. H.; WITTENBERG, K. M.; JANZEN, H. H. Evaluating greenhouse gas mitigation practices in livestock system: an illustration of a whole farm approach. **J. Agr. Sci.** 147, 367-382.

TARRÉ, R.M.;MACEDO, R.;CANTARUTTI, R. B.;REZENDE, C. de P.;PEREIRA, J. M.;FERREIRA, E.; ALVES, B. J. R.;URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. . The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures

in the Atlantic forest region of the south of Bahia, Brazil. **Soil Biology & Biochemistry** , Dordrecht, v. 234, n. 1, p. 15-26, 2001.

TEODORO, R. L.; LEMOS, A. M.; MADALENA, E. E. Carga parasitária de *Boophilus Microplus* em vacas mestiças Europeu-Zebu. **R. da Sociedade Brasileira de Zootecnia**. V. 23, n. 2, p. 223-228, 1994.

TORQUIST, C. G. **Simulação da dinâmica do carbono orgânico do solo em escala regional: aplicação do Modelo Century e sistemas de informações geográficas**. 156 f. Tese (Doutorado – Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio de Grande do Sul, Porte Alegre, 2007.

XU, H.; CAI, Z. C.; TSURUTA, H. Soil moisture between rice-growing seasons affects methane emission, production, and oxidation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, p. 1147-1157, 2003.

UNFCCC, 2008.Disponível em: <http://unfccc.int> acessado em 28 de março de 2011

USDA, 2008.United States Department of Agriculture.Relatories.
Disponível em <http://www.usda.gov> acessado em 04 de julho de 2011

USDA - United States Department of Agriculture. 2011 **Trade Forecast Update: Pork Higher; Beef and Broiler Meat Stable**. Foreigner Agricultural Service of USDA.
Disponível em <http://www.fas.usda.gov>. acessado em 14 de janeiro de 2012.

VERBURG, P.H.; VELDKAMP, A.; ROUSEVELL, M. D. A. Scenario-based studies of future land use in Europe. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 114, p. 1-6., 2006.

VERCHOT, L. V., DAVIDSON, E. A., CATTANIO, J. H. and ACKERMAN, I. L. Land-use change and biogeochemical controls of methane fluxes in soil of eastern Amazonia. **Ecosystems** 3, 41-56. 2000

WATSON, L. Portugal gives green light to pasture carbon farming as a recognized offset. **Australian Farm Journal**. January 2010, 44-47. 2010

WEIER, K. L. Trace gas emissions from a trash blanketed sugarcane field in tropical Australia, in J. R. WILSON, D. M. HOGARTH, J. A. CAMPBELL and A. L. GARSIDE (eds.) **Sugarcane: Research Towards Efficient and Sustainable Production**, Brisbane Australia, CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures, pp. 271-272. 1996

WEISKE, A.; VABITSCH, A.; OLESEN, J. E.; SCHELD, K.; MICHEL, J.; FRIEDRICH, R. & KALTSCHMIT, M. Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 112: 221-232, 2006.

WEST T. O.; MARLAND G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 91, 217-232, 2002.

WILLIAMS, D. J. Methane emissions form manure of free-ranging dairy cows. **Chemosphere** 26: 179-187, 1993

WILLIAMS, A. G.; AUDSLEY, E.; SANDARS, D. L. **Determining the Environmental Burdens and Resource Use in the Production of Agricultural and Horticultural Commodities**; Main Report, Defray Research Project ISO205, Bedford, Canfield University and Defray, 2006.

YANG, S. S.; CHANG, H. L. Methane emission from paddy fields in Taiwan. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 33, p. 157-165, 2001.

YOUNG, B. A. Greenhouse gases and the animal industries. **Proceedings of the 1st International Conference on Greenhouse Gases and Animal Agriculture**. Obihiro, Japan. November, 2001 p 9-14. 2002.

7. GLOSSÁRIO

Pastagem degradada: Esse tipo de pastagens tem uma redução na produção de forragem, na qualidade, na altura e no volume durante a época de crescimento provocando perdas no desempenho animal, com forte presença de plantas invasoras e solo apresentando erosão.

Pastagem nominal: Refere-se a pastagem que não apresenta seu máximo potencial produtivo, mas é capaz de manter a produtividade, não apresentando forte infestação de plantas invasoras ou erosão.

Pegada de Carbono: É a quantidade em quilos de dióxido de carbono equivalente emitida para se produzir uma unidade de produto.

Potencial de Aquecimento Global: é uma medida de como uma determinada quantidade de gás do efeito estufa contribui para o aquecimento do planeta. Também é comumente identificado apenas pela sigla GWP ou GWF, em referência aos nomes em inglês. O GWP é uma medida relativa que compara o gás em questão com a mesma quantidade de dióxido de carbono (cujo potencial é definido como 1). O Potencial de Aquecimento Global é calculado sobre um intervalo de tempo específico (por exemplo 100 anos) e este valor deve ser declarado para a comparação.

Mitigação: Nas ciências ambientais a mitigação consiste numa intervenção humana com o objetivo de reduzir ou remediar um determinado impacto ambiental nocivo.

Unidade animal: Uma unidade animal equivale a 450 kg de peso vivo.