UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos

VANESSA CRISTINA PIOTTO

Mitigação da emissão de gases de efeito estufa em pasto de
***Brachiaria brizantha* cv. Marandu sob pastejo**

Pirassununga – SP
2016

VANESSA CRISTINA PIOTTO

**Mitigação da emissão de gases de efeito estufa em pasto de
Brachiaria brizantha cv. Marandu sob pastejo**

“Versão corrigida”

Tese apresentada à Faculdade de
Zootecnia e Engenharia de Alimentos
da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Doutora em
Ciências

Área de Concentração: Qualidade e
Produtividade Animal.

Orientador: Prof. Dr. Valdo Rodrigues
Herling

Coorientadora: Dr^a. Patrícia Perondi
Anchão de Oliveira

**Pirassununga - SP
2016**

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP, com
os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P691m Piotto, Vanessa Cristina
Mitigação da emissão de gases de efeito estufa em
pasto de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sob pastejo /
Vanessa Cristina Piotto ; orientador
Valdo Rodrigues Herling ; coorientadora Patrícia
Patrícia Perondi Anchão de Oliveira. -- Pirassununga,
2016.
86 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação
em Zootecnia) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Lotação rotativa. 2. Lotação contínua. 3. Metano. 4.
Dióxido de carbono. 5. Óxido nitroso. I. Herling, Valdo
Rodrigues , orient. II. Oliveira, Patrícia Patrícia Perondi
Anchão de, coorient. III. Título.

Nome: PIOTTO, Vanessa Cristina

Título: Mitigação da emissão de gases de efeito estufa em pasto de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sob pastejo

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura _____

A Deus, pela gratidão ao dom da vida e da fé.

A minha mãe, Eunice Piotto, meu maior exemplo de mulher e ser humano, a quem devo tudo na minha vida. Sem você, absolutamente nada seria possível.
A meu Pai (in memoriam), Walther Piotto, que abençoa cada passo da minha vida e que se faz presente em cada instante. Meu eterno amor.

Aos meus irmãos, Walter Piotto e Débora Piotto, por serem meu maior exemplo de dedicação e persistência.

As minhas três sobrinhas, Beatriz, Camila e Melina, que são as estrelas da minha vida, responsáveis pelo meu sorriso e amor mais sincero.

À meu noivo, Rafael V. de Assis, sempre presente comigo, em cada etapa e em cada dificuldade, sempre com todo amor, carinho e zelo.

DEDICO.

Agradeço...

Ao Professor Valdo Rodrigues Herling pela orientação, dedicação, empenho e ensinamentos acadêmicos e para a vida. Obrigada por toda confiança depositada em mim e pela amizade.

A Universidade de São Paulo e a CAPES pela oportunidade concedida de cursar o Doutorado.

Ao Cristiano Andrade, Magda Lima, Rosa Figueretto, Patricia Anchão e Alexandre Berndt e a EMBRAPA, pela parceria na condução do experimento e confiança.

Aos meus orientadores de graduação e mestrado, Marco Aurélio F. Barbosa (*in memoriam*) e Ulysses Cecato. Obrigada por fazerem parte desta trajetória.

A Profa. Maria Silveira, ao Prof. João Vendramini, ao Prof. Cecílio Soares e as amigas Cindy Holley, Gleise Medeiros, Amanda Balbo e todos que estiveram comigo na University of Florida, por toda amizade e acolhimento.

Aos estagiários Fabricio Narezzi e Eduardo Inojosa, que se dedicaram a condução do experimento, sem medir esforços.

Aos funcionários da FZEA, sempre prontos ajudar no que foi preciso.

A Gabriela Strozzi, pela grande amizade, cumplicidade e respeito.

A Jéssica Bet, por toda amizade construída, conversas e conselhos.

A Tatiane Beloni, pela amizade, apoio e positividade de sempre.

A minha segunda família, José Luíz, Sandra, Leonardo, Arthur e Karine, por toda paciência e compreensão.

As amigas Rosa Dulze Zimba e Amanda Beladessa pelo grande companheirismo e amizade enquanto moramos juntas.

Aos amigos Cesar Rocha, Paula Moraes, Liliane Romualdo, João Marcelo Sanchez, Jéssica Coldebello, Danieli Perez, Prof. Pedro Henrique C. Luz, Prof. Felipe Macedo, Paulo Tonetti, Manoel (Seu Mané) e a todos aqueles que já passaram pelas agrárias e pelo nosso grupo de estudos GEFEP pela amizade e que, de alguma maneira, participaram de todo processo.

A toda equipe do Laboratório de Solos pelo auxílio, em especial, ao Marcos Ferraz, pelo ensinamento e paciência.

E a todos aqueles que, ao longo de toda esta caminhada, que de alguma forma, participaram e compartilharam da realização deste sonho.

Muito obrigada!!!

“A felicidade não está em fazer o que a gente quer, mas em querer o que a gente faz”.

Jean Paul Sartre

RESUMO

PIOTTO, V. C. Emissão de gases de efeito estufa em pasto de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sob pastejo. 2016. 78 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

Os efeitos adversos das mudanças climáticas, devido aos fenômenos naturais e às atividades humanas, são sentidos no mundo todo. Em diversas ações das áreas de pesquisa têm sido estudado o aquecimento global e as emissões de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e óxido nitroso (N_2O), gases de efeito estufa (GEE) e principalmente a participação das atividades agrícolas nessas emissões. Diante disto, procurou-se avaliar a emissão de metano por bovinos de corte, de acordo com o método de pastejo de lotação rotativa ou contínua e, avaliar a emissão de CH_4 , CO_2 e N_2O no sistema solo-planta e mensurar o sequestro de carbono e nitrogênio em áreas de pastagem e vegetação natural. Durante o ano de 2014, janeiro a outubro, no foram realizadas avaliações em pastos cultivados com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, pastejados por novilhas da raça Nelore, em sistemas de pastejo rotativo ou contínuo. As avaliações da produção e disponibilidade da forragem eram realizadas semanalmente, com ajuste dos animais em cada sistema. As avaliações das emissões dos gases de efeito estufa, no sistema solo-planta, também realizadas semanalmente, foram medidas pelo método de uso câmaras estáticas de PVC, e as amostras eram coletadas nos tempos de 0, 10, 20 e 30 minutos após o fechamento da câmara. O metano entérico dos animais, avaliado uma vez por estação, foi aferido por meio da técnica do gás traçador SF_6 , que possibilita quantificar o CH_4 . A densidade aparente do solo, assim como os teores de carbono (C) e nitrogênio (N), foram verificados nas áreas de pastagem e vegetação natural, em dezembro/2012 (período pré-experimental) e outubro/2015. A altura da pastagem, assim como relação lâmina foliar e colmo + bainha, variaram ($p < 0,05$) de acordo com o método de pastejo e estação do ano. Já os componentes bromatológicos, variaram ($p < 0,05$) com a interação entre pastejo e estação. A emissão de metano entérica não variou de entre os métodos de pastejo, obtendo diferença apenas para as estações. A produção média de metano entérico foi de 62 kg/ano. As maiores variações nos teores e estoques de C e N, assim como a densidade aparente do solo, foram significativas nas camadas mais superficiais do solo (0 a 10 cm). Os teores e estoques de carbono e nitrogênio aumentaram com o uso da pastagem. A emissão de CO_2 e N_2O foram semelhantes entre os métodos de pastejo, com ou sem adubação, enquanto a emissão de CH_4 foi superior no método rotativo adubado.

Palavras-chave: bovinos, dióxido de carbono, gramínea tropical, metano, óxido nitroso,

ABSTRACT

PIOTTO, V. C. **Emission of greenhouse effect gases in pasture of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu under grazing.** 2016. 78 f. Thesis (PHD) - Faculty of Animal Science and Food Engineering, University of São Paulo, Pirassununga, 2016.

The adverse effects of climate change, due to natural phenomena and human activities, are felt around the world. In several actions in the areas of research have been studying global warming and emissions of methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂) and nitrous oxide (N₂O), greenhouse gases (GHG) and especially the participation of agricultural activities in these emissions. In this regard, we sought to evaluate the emission of methane per cattle, in accordance with the grazing method of rotating grazing or continuous, and evaluate the emission of CH₄, CO₂ and N₂O in the soil-plant system and measure the sequestration of carbon and nitrogen in areas of pasture and natural vegetation. During the year 2014, January to October, the evaluations were conducted in pastures cultivated with *Brachiaria brizantha* cv. Marandu pastejados by Nellore heifers, on systems of rotational grazing or continuous. The evaluations of the production and availability of forage were held weekly, with adjustment of animals in each system. The ratings of the greenhouse gases emissions, in soil-plant system, also held weekly, were measured by the method of using static chambers of PVC, and the samples were collected at the time of 0, 10, 20 and 30 minutes after the closing of the camera. The enteric methane from animals, assessed once per season, was measured by the technique of tracer gas SF₆, which allows to quantify the CH₄. The bulk density of the soil, as well as the contents of carbon (C) and nitrogen (N), were found in the areas of pasture and natural vegetation, in december/2012 (pre-experimental) and October/2015. The height of the pasture, as well as leaf blade and stem + sheath, ranged ($p < 0.05$) in accordance with the grazing method and season of the year. Since the components bromatological, ranged ($p < 0.05$) with the interaction between grazing and station. The emission of methane enteric did not vary among the methods of grazing, obtaining a difference just for the stations. The average production of methane enteric was 62 kg/year. The greatest variations in the concentrations and stocks of C and N, as well as the apparent density of the soil, were significant in the most superficial layers of the soil (0 to 10 cm).). The levels and stocks of carbon and nitrogen increased with the use of pasture. The CO₂ and N₂O emissions were similar among the grazing methods, with or without fertilization, while the CH₄ emission was higher in the fertilized rotary method.

Key-words: cattle, carbon dioxide, methane, nitrous oxide, tropical grass

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista aérea da área experimental cultivada com <i>Brchiaria brizantha</i> cv. Marandu, dividida em dois sistemas de produção, utilizando os métodos de lotação contínua e rotativa rotativo e contínuo, FZEA-USP, Pirassununga, SP	28
Figura 2 - Temperatura (°C) mínima, média e máxima, radiação solar (Kw/m ²) e precipitação mensal (mm).....	29
Figura 3 - Precipitação (mm) histórica (últimos 67 anos) e do ano de 2014, entre os meses de janeiro e outubro, no município de Pirassununga, SP.....	30
Figura 4 - Croqui da área experimental, evidenciando a área destinada ao método rotativo de pastejo (dividida em seis unidades experimentais, com cinco piquetes cada) e, a área destinada ao método contínuo de pastejo, com as três unidades.....	31
Figura 5 - Novilhas da raça Nelore em pastejo em <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu.....	32
Figura 6 - Área de pasto de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu sendo avaliada com uma régua graduada em centímetros.....	33
Figura 7 - Moldura de ferro, 0,5 x 0,5 m, delimitando a área de corte em pasto de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu.....	33
Figura 8: Vista aérea da área de pastejo rotativo. Os pontilhados brancos indicam como era determinado os 30 pontos de altura da forragem.....	34
Figura 9: a) Quadro de ferro de 0,25m ² , jogado a lanço, utilizado para determinar, aleatoriamente, a área que será amostrada; b) capim-marandu que será coletado; c) uso da roçadeira da marca Stihl®, ao nível do solo, para coletar a massa de forragem contida no quadro de ferro.....	35
Figura 10: Componentes estruturais da planta: a) lâmina foliar (LF); b) colmo+bainha (CB); c) material senescente ou morto (MM).....	35
Figura 11: a) animal pastejando; b, c) coleta do capim-marandu simulando o ato do pastejo do animal (hand plucking).....	36
Figura 12 - a) canga feita de PVC, já com vácuo, para coleta do gás expelido pelos animais; b) canga acoplada ao cabresto; c) tubo de silicone ligado ao cabresto, alocado diretamente na narina do animal; d) novilhas Nelore com canga e cabresto para a coleta de gases.....	37
Figura 13 - Animal tester com a canga coletora danificada.....	38

Figura 14 - a) área das câmaras alocadas no piquete em lotação rotativa que não recebia adubação; b) exclusão das câmaras no momento da adubação.....	41
Figura 15. a) área de lotação rotativa recebendo adubação nitrogenada; b) área de lotação rotativa recebendo adubação nitrogenada e a câmara de PVC, fechada com saco plástico, para excluí-la da adubação realizada mecanicamente.....	41
Figura 16: a) base da câmara de PVC; b) tampa da câmara feita com PVC, contendo um válvula para regular a pressão interna e outra para coleta dos gases; c) base da câmara fechada com a tampa.....	42
Figura 17: Momento da coleta dos gases de efeito estufa a) coleta dos gases com o auxílio de uma seringa de 60 mL; b) depósito dos gases em frascos de vidro, previamente evacuado; c) coleta dos gases nos quatro tempos (0, 10 20 e 30 minutos após o fechamento da câmara).....	43
Figura 18. Detalhes da amostragem de solo para análise de densidade.....	45
Figura 19. Massa seca de forragem (kg/ha) de capim-marandu sob lotação rotativa.....	49
Figura 20. Massa seca de forragem (kg/ha) de capim-marandu sob lotação contínua.....	49
Figura 21: Oferta de forragem de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu em função das estações do ano.....	53
Figura 22. Densidade aparente do solo (g/cm^3) inicial, nos perfis amostrados, para os métodos de lotação rotativa e contínua e em área de vegetação nativa.....	56
Figura 23. Densidade aparente do solo (g/cm^3) final, em área cultivada com pastagem, sob dois métodos de pastejo (rotativo e contínuo), nas diferentes profundidades.....	57
Figura 24. Comparação da densidade aparente do solo (g/cm^3) em diferentes profundidades, de coletas iniciais e finais em áreas cultivadas com <i>Brachiaria brizantha</i> cv, Marandu, sob pastejo rotativo e contínuo e, em área de vegetação natural.....	59
Figura 25. Comparação dos teores iniciais de carbono no solo (g/kg) de áreas sob o cultivo de pastagem, com métodos de pastejo diferentes, e área de vegetação natural, até um metro de profundidade.....	61
Figura 26. Comparação dos teores iniciais de nitrogênio no solo (g/kg) de áreas sob o cultivo de pastagem, com métodos de pastejo diferentes, e área de vegetação natural, até um metro de profundidade.....	61
Figura 27. Teores finais de carbono no solo (g/kg) em áreas de pastagens cultivadas e submetidas a dois métodos de pastejo.....	62
Figura 28. Teores finais de nitrogênio no solo (g/kg) em áreas de pastagens cultivadas e submetidas a dois métodos de pastejo.....	63

Figura 29. Estoque de Carbono (Mg/ha-1), de 0 a 100 cm de profundidade, em áreas cultivadas com <i>Brachiaria brizantha</i> cv, Marandu, em dois métodos de pastejo e, área de vegetação natural, Inicial=dezembro/2012; Final=outubro/2015.....	66
Figura 30 - Estoque de Nitrogênio (Mg/ha-1), de 0 a 100 cm de profundidade, em áreas cultivadas com <i>Brachiaria brizantha</i> cv, Marandu, em dois métodos de pastejo e, área de vegetação natural, Inicial=dezembro/2012; Final=outubro/2015.....	67
Figura 31 - Emissão de CH ₄ (mg C-CH ₄ m ⁻² d ⁻¹) por câmara, em pastos cultivados com <i>Brachiaria brizantha</i> cv, Marandu e sob lotação contínua (LCONT), rotativa adubado (LRCA) e rotativa sem adubação (LRSA).....	69
Figura 32. Emissão de CO ₂ (mg C-CO ₂ m ⁻² d ⁻¹) em pastos cultivados com <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu e sob lotação contínua (LCONT), rotativa adubado (LRCA) e rotativa sem adubação (LRSA).....	72
Figura 33. Temperatura (°C) máxima, mínima e média, precipitação acumulada (mm) e umidade externa (%) das áreas experimentais, no período de Janeiro a Outubro de 2014.....	71
Figura 34. Emissão de N ₂ O (mg N-N ₂ O m ⁻² d ⁻¹) em pastos cultivados com <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu e sob lotação contínua (LCONT), rotativa adubado (LRCA) e rotativa sem adubação (LRSA).....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potencial de Aquecimento Global (PAG) relativo a CO ₂	19
Tabela 2. Estimativa de emissões pela agropecuária em CO ₂ eq	21
Tabela 3 - Altura do pasto de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu durante as quatro estações do ano, submetida ao método de pastejo rotativo e contínuo	47
Tabela 4 - Componentes morfológicos do capim-marandu nas estações do ano e submetido a dois métodos de pastejo	50
Tabela 5 - Valor nutritivo de lâmina foliar e colmo + bainha de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu, sob dois métodos de pastejo	52
Tabela 6 - Emissão de metano por novilhas da raça Nelore em pastagem de capim-marandu, durante as estações do ano, no estado de São Paulo	54
Tabela 7 - Eficiência animal: emissão de metano (kg) pelo ganho de peso	55
Tabela 8. Estoques iniciais de carbono (C) e nitrogênio (N) em Mg ha ⁻¹ , em áreas de pastagens cultivadas de capim-marandu e vegetação natural	64
Tabela 9. Estoques finais de carbono (C) e nitrogênio (N) em Mg ha ⁻¹ , em áreas de pastagens cultivadas de capim-marandu e vegetação natural	65
Tabela 10. Emissões anuais de gases de efeito estufa (CH ₄ , CO ₂ e N ₂ O) em áreas cultivadas com <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	76

LISTA DE SIGLAS

CB	Colmo + Bainha
CFCs	Clorofluorcarbonos
CH ₄	Metano
CMSF	Consumo de Matéria Seca de Forragem
CO ₂	Gás Carbônico
DIVMS	Digestibilidade <i>in vitro</i> de Matéria Seca
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FDA	Fibra de Detergente Ácido
FDN	Fibra de Detergente Neutro
FDNi	Fibra em Detergente Neutro indigestível
GEE	Gases de Efeito Estufa
GMD	Ganho Médio Diário
HP	Hand Plucking
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LCONT	Lotação Rotativa Contínua
LDA	Lignina em Detergente Ácido
LF	Lâmina Foliar
LRCA	Lotação Rotativa com Adubação
LROT	Lotação Rotativa
LRSA	Lotação Rotativa sem Adubação
MM	Material Morto
MS	Matéria Seco
N ₂	Gás Nitrogênio
N ₂ O	Óxido Nitroso
NIR	Near Infrared Reflectance
NO	Óxido Nítrico
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
O ₂	Gás Oxigênio
OF	Oferta de Forragem

PAG	Potencial de Aquecimento Global
PB	Proteína Bruta
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PC	Peso Corporal
PFT	Produção Fecal total
PV	Peso Vivo
UE	Unidade Experimental
USEPA	United States Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1 Efeito Estufa.....	19
2.2 Emissão de Metano.....	21
2.3 Emissão de Dióxido de carbono.....	24
2.4 Emissão de Óxido nitroso	25
3 HIPÓTESE.....	27
4. OBJETIVO.....	27
4.1 Objetivo Geral	27
4.2 Objetivo Específico	27
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
5.1 Área Experimental.....	28
5.2 Condições Edafoclimáticas e adubações.....	29
5.3 Métodos de pastejo e Animais experimentais.....	30
5.4 Avaliações do pasto.....	32
5.4.1 Análises laboratoriais.....	36
5.5 Metano entérico.....	37
5.6 Estimativa do consumo de forragem.....	39
5.7 Fluxo de Gases de Efeito Estufa no solo.....	40
5.7.1 Localização das câmaras e Adubação.....	40
5.7.2 Coleta de Gases de Efeito Estufa.....	41
5.8 Densidade aparente do solo.....	44
5.9 Estoque de carbono e nitrogênio no solo.....	45
5.10 Análise estatística.....	46
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47

6.1 Oferta de forragem.....	47
6.2 Emissão de metano entérico.....	53
6.3 Densidade aparente do solo.....	56
6.4 Teores de carbono e nitrogênio.....	59
6.5 Estoque de carbono e nitrogênio.....	63
6.6 Emissões de Gases de Efeito Estufa.....	68
CONCLUSÃO.....	78
REFERÊNCIAS.....	79

1. Introdução

Os efeitos adversos das mudanças climáticas, devido aos fenômenos naturais e às atividades humanas, são sentidos no mundo todo. O aquecimento global e a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) têm sido estudadas sob diferentes temáticas científicas, com ênfase nos mais conhecidos, como o clorofluorcarbonos (CFCs), dióxido de carbono (CO_2) – principal componente –, óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4), dentre outros em menor concentração. A mudança no uso da terra e a utilização de combustíveis fósseis contribuem fortemente para o aumento da emissão de CO_2 . Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), as atividades agrícolas são consideradas as principais responsáveis pelo aumento na emissão de CH_4 e N_2O .

O acréscimo na concentração desses gases na atmosfera provoca maior retenção de calor no globo terrestre, podendo ocasionar aumento em sua temperatura média. No ano de 2007, o IPCC apresentou em seu relatório as constantes alterações climáticas, com ênfase para os recorrentes aumentos nas temperaturas médias do planeta terra, tanto da atmosfera quanto dos oceanos, que, por consequência, ocasionam o degelo da neve de elevados e das calotas polares, com aumento no nível de mares e oceanos. Assim, a comunidade, em geral, tem cobrado soluções em diversos setores de produção, para melhor controle das emissões dos GEE.

Existe um paradigma a ser vencido. O mundo experimenta a realidade de ter que alimentar a cada ano mais pessoas e, consequentemente, a demanda por produção de alimentos também aumenta, crescendo a emissão de gases na atmosfera.

No que diz respeito a participação dos gases de efeito estufa no aquecimento global, Cotton e Pielke (1995) afirmaram que o CH_4 contribui com 15%. As atividades agropecuárias são as responsáveis pela emissão de N_2O , devido ao uso da adubação nitrogenada nos pastos, do CH_4 , pela fermentação entérica dos animais ruminantes, que segundo USEPA (2000) são considerados a terceira maior fonte de emissão de CH_4 para a atmosfera, com taxa de 22%, e o CO_2 , resultante da queima de combustíveis fósseis e desmatamento (SILVA, 2013).

Nesse contexto, a exploração de bovinos de corte no Brasil, em grande extensão de áreas de pasto, apresenta imagem negativa, uma vez que se divulga nos veículos de comunicação o aproveitamento de áreas de desmatamento e com baixa eficiência produtiva, o que tem contribuído nas emissões de GEE (STEINFELD et al., 2006).

Embora o país tenha melhorado nos últimos 20 anos na exploração do binômio animal-planta forrageira, os resultados mais expressivos têm sido conquistados em

explorações pontuais, com pouca influência nos resultados médios de eficiência produtiva. Segundo o IBGE (2013), no quarto trimestre de 2012, o Brasil abateu 8,2 milhões de cabeças de bovinos. Em 2016, no primeiro trimestre, o abate equivaleu a 7,3 milhões de cabeças de bovinos. Há efeito de sazonalidade na produção e, portanto, no número de animais abatido. De certa forma, a taxa de abate no país avançou muito pouco. As razões para isso são bem conhecidas e estão inseridas no contexto da exploração pecuária no Brasil.

O correto manejo das áreas de pastagem, se apresenta como uma das alternativas para diminuir a emissão de GEE. Segundo Cottle et al. (2011), a emissão pode variar de acordo com a estação do ano, a espécie forrageira e o manejo imposto ao sistema de exploração. Nos ruminantes, a produção e emissão de CH₄ são influenciadas pelo valor nutritivo da forragem disponível, reduzindo-se quando se garante a qualidade da planta forrageira (LASCANO & CÁRDENAS, 2010).

De acordo com Lima (2002), do total das emissões de metano geradas no Brasil, oriundas de atividades agropecuárias, a produção de bovinos é responsável por 96% destas emissões, com relevância os sistemas extensivos. E, este aumento da produção da bovinocultura brasileira, passa a ter uma barreira empregada à pecuária, intitulada como “boi do metano” (PINEDA, 2010).

Para Berchieli (2012), em contraponto à emissão de GEE entérico e manejo de dejetos, tem-se a mitigação do CO₂ pelas plantas forrageiras. Assim, se o pasto for mal manejado, sua degradação é iminente, vindo a diminuir gradativamente a produção e disponibilidade de massa verde e, conseqüentemente, a capacidade de sequestro de carbono (PAULINO, 2009).

Neste sentido, é importante a forma como se maneja o pasto, se as condições de solo, clima e uso animal estão adequados para seu crescimento e desenvolvimento. Os métodos de pastejo de lotação rotativa ou contínua devem ser avaliados de acordo com suas particularidades em função da forragem e Herling et al. (2005), ressalta que o tipo de pastejo deve atender as necessidades para o desempenho animal e sua eficiência.

De acordo com Silva (2011), em áreas de lotação rotativa, deve existir alternância entre os períodos de ocupação (pastejo) e de descanso, em que o processo de rebrotação e recuperação da planta ocorre em um momento a parte do pastejo. Já, no método de lotação contínua, o animal persiste ininterruptamente e por tempo ilimitado na área de pastejo (SOLLENBERGER et al., 2012), ou seja, ao mesmo tempo em que há o pastejo há, também, a rebrotação das plantas na mesma área.

Portanto, a exploração de animais ruminantes em pasto deve ser melhor planejada nos sistemas produtivos do Brasil. Os objetivos devem ser claros e em direção da eficiência na produção vegetal e animal. Há necessidade de se aumentar a produção dos pastos, melhorar o rebanho bovino e a eficiência de colheita do alimento produzido para que se obtenha melhor conversão animal (kg de carne) por unidade de GEE emitido.

No Brasil, existem poucos estudos experimentais com informações que quantifique e integre os setores agropecuários com as emissões de CH₄, CO₂ e N₂O, balanços e drenos de carbono e o potencial de mitigação das áreas agricultáveis. Neste sentido, faz-se necessário gerar dados que possam associar as emissões e mitigações dos gases de efeito estufa na produção pecuária brasileira.

4. Revisão da Literatura

4.1. O efeito estufa

A alteração climática tem sido um dos principais assuntos discutidos no mundo. O efeito estufa, fenômeno natural e antrópico, camada de gases e outras partículas em suspensão acumulados na atmosfera, que, por consequência, mantém a radiação infravermelha, conservando o aquecimento do planeta e possibilitando a vida de todo ser vivo (ROSENDO, 2012). Entretanto, as atividades humanas, como queima de combustíveis fósseis, indústrias, veículos, desmatamento e mudança no uso da terra, fazem com que o aquecimento global seja agravado (VIEIRA, 2010), contribuindo para o aumento da emissão do CO₂, CH₄ e N₂O, principais Gases do Efeito Estufa (GEE). O aumento destes gases na atmosfera elevou a temperatura da Terra em 0,6 °C durante o século passado e, atualmente, há previsão aumento de 0,21 °C a cada década (IPCC, 2007).

O incremento nas emissões de CH₄ e N₂O, é parcialmente atribuído às atividades agropecuárias e, do CO₂, à mudança do uso da terra e queima de combustíveis fósseis (BERNDT, 2010). Para se ter uma análise comparativa para a emissão dos GEE, as emissões dos gases são transformados em CO₂ equivalente (CO₂eq), o que atribui ao gás carbônico um ponto referencial (Tabela 1). Apesar das concentrações de CH₄ e N₂O na atmosfera serem menores que a de CO₂, estas devem ser igualmente estudadas pois, em equivalência de efeito estufa, o CH₄ é 25 e o N₂O 298 vezes maior que o CO₂ (IPCC, 2007).

Tabela 1. Potencial de Aquecimento Global (PAG) relativo a CO₂.

Designação industrial ou nome comum	Fórmula química	PAG para 100 anos	
		Segundo relatório de avaliação	Quarto relatório de avaliação
Dióxido de carbono	CO ₂	1	1
Metano	CH ₄	21	25
Óxido Nitroso	N ₂ O	310	298

Adaptado IPCC, 2007

De acordo com os balanços gerados pelo IPCC (2007), ao longo de 34 anos (1970 a 2004), a emissão dos GEE aumentaram em 145% no setor de geração de energia, 120% no de transporte, 65% na indústria e 40% na mudança do uso da terra.

Em 2013, foi publicado o II Inventário Brasileiro sobre estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa, referente ao período de 1990 e 2012, de acordo com o setor produtivo. As consequências destas emissões já podem ser sentidas no Brasil, de acordo com

o IPCC e Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) em 2013, considerado um país mais pré-disposto às mudanças de temperatura em sua região costeira.

De acordo com o IBGE (2007), o Brasil é detentor de 158,7 milhões de hectares de áreas de pastagens, sejam elas nativas ou não, e possui o maior rebanho comercial bovino do mundo, com 212,3 milhões de cabeças (IBGE, 2014). E, em relação às emissões de GEE, 70% provém da mudança do uso da terra ou da fermentação entérica dos animais (BRASIL, 2009), fazendo com que a agropecuária seja a primeira colocada na emissão dos gases. As demais atividades agrícolas, que resultam na emissão de GEE, como o uso de fertilizantes, dejetos dos animais em área de pastagem, ficam em segundo lugar e, em terceiro, o cultivo de arroz irrigado e queima de resíduos, como por exemplo os da cana-de-açúcar (SEEG, 2015).

Segundo dados da Embrapa (1999), nas estimativas de emissão de GEE no Brasil tinham os ruminantes e as atividades agropecuárias como principais fontes de CH₄. Dados como estes são de grande importância, visto que o país é detentor do maior rebanho comercial do mundo e, na grande maioria das vezes, estes animais são produzidos de maneira extensiva.

Apesar da importância econômica da pecuária bovina no PIB Brasileiro (2000 a 2015), o país ainda é ineficiente quanto ao seu sistema de produção, utilizando métodos de pastejo que não se adequam às suas reais necessidades. Geralmente, as pastagens brasileiras possuem potencial produtivo abaixo de sua capacidade, com maior quantidade de colmos que folhas verdes, permitindo que o animal colha material vegetal de pior valor nutritivo (LOPES, 2013), com consequência em seu desempenho e produtividade.

Há a projeção de que 80% das pastagens brasileiras cultivadas apresentem algum grau de degradação (BARCELLOS e VILELA, 2001), e esta degradação das áreas agricultáveis é considerada ponto importante na emissão dos GEE, pois são responsáveis pelo aumento da densidade, menor aeração dos poros e diminuição da infiltração de água no solo. Com o mau uso dos recursos naturais, as pastagens podem entrar em degradação e, isto vem sendo apontado como um dos fatores responsáveis pela baixa eficiência na produção animal e pelos problemas ambientais causados pela pecuária brasileira (PRIMAVESI et al., 2007).

Pastos de baixa produção têm diminuído seu potencial de sequestro de carbono. Alterações nesse quadro depende da interferência das atividades humanas, da conversão da área de vegetação nativa em área de cultivo, da rotação de cultura, do tipo de solo, do manejo adotado e das condições climáticas (CARVALHO et al., 2014). Em pastagens, o sequestro de carbono dependerá do manejo das plantas, da fertilidade do solo (PAULINO, 2009) e, também, dos limites de saturação de C no solo (dependente da textura de solo), pois estes

interferem na quantidade de biomassa vegetal aérea, radicular, e, conseqüentemente, afetarão os resíduos no solo.

Segundo BERNOUX et al. (2003), pastagens degradadas são fonte de emissão de gases de efeito estufa, porém, quando bem manejadas, ou recuperadas, tem a capacidade estocar o carbono atmosférico (BAYER et al., 2010), sendo que os principais fatores que possibilitam o processo de sequestro de carbono são a agregação, humificação e sedimentação do solo (RESENDE, 2015).

De acordo com as Estimativas Anuais de Emissões de Gás de Efeito Estufa no Brasil (2014), há indícios de mudança nas emissões ao longo dos anos no país (Tabela 2). Nestas estimativas, até de 2012, as principais emissões do setor agropecuário são devido a fermentação entérica dos ruminantes (metano) e a utilização de adubos e fertilizantes minerais (óxido nítrico).

Tabela 2. Estimativa de emissões pela agropecuária em CO₂eq.

Setor agropecuário	Gg CO ₂ eq			Variações (%)
	2005	2011	2012	2005 - 2012
Fermentação entérica	241,225	251,127	249,405	3,4
Manejo de dejetos de animais	19,155	21,616	21,417	11,8
Solos agrícolas	141,622	161,185	160,311	13,2
Fertilizantes minerais	9,652	14,759	15,059	56
Resíduos agrícolas	9,021	13,22	12,989	44
Solos orgânicos	3,982	4,64	4,75	19,3

Adaptado de: Estimativas anuais de emissões de gás de efeito estufa no Brasil, 2014

Dado o exposto, é de suma importância melhorias no uso das áreas de pastagens e solo, contribuindo, portanto, na mitigação dos gases de efeito estufa.

4.2. Emissão de metano

O CH₄ é um gás incolor e inodoro, sendo dos hidrocarbonetos o que mais é emitido pela ação humana, principalmente pelas atividades agrícolas (VIEIRA et al., 2010).

A emissão do CH₄ pelos ruminantes é um processo natural e é uma das maiores fontes de emissão deste gás no país. A produção deste gás se dá pela fermentação entérica, por meio de bactérias metanogênicas presentes no rúmen e, pelos dejetos dos animais (BERCHIELLI, 2012). Os sistemas de manejo de dejetos de animais, por meio de sua decomposição anaeróbia, podem causar emissões de CH₄, e também, N₂O. Na divulgação do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (2009), destacam-se as emissões

totais de CH₄, estimadas em 9,1 Tg, sendo 8,8 Tg da fermentação entérica e 0,3 Tg oriundos do manejo de dejetos dos ruminantes.

Segundo Berndt (2010), a média de emissão de metano pelos ruminantes no Brasil é de 51,5 kg/animal/ano, valor este que fica abaixo do estimado pelo IPCC (2007), que é de 56 kg/animal/ano.

A produção do CH₄ é parte de todo processo digestivo que ocorre com os ruminantes. Os microrganismos presentes no rúmen, podendo ou não ser anaérobios, são capazes de decompor a celulose, hemicelulose e amido, componentes da parede celular da planta, em açúcares simples para fermentação e obtenção de ácidos orgânicos, hidrogênio, CO₂ CH₄ (SALEEM, 2013). A emissão do CH₄ à atmosfera pela fermentação entérica, além dos danos ambientais causados, este gás também tem efeito negativo na produção animal (BERNDT, 2010). O CH₄ eructado pelo animal, que contribui para perda de parte da energia bruta consumida (4 - 9%), é um indicativo da atividade microbiana no rúmen e, assim, pode-se quantificar a emissão deste gás pelos ruminantes (JOHNSON e JOHNSON, 1995). A produção de compostos no rúmen gera energia para promover o crescimento das bactérias metanogênicas (PATRA, 2012).

Após o consumo, a conversão do carboidrato vegetal em ácidos graxos de cadeia curta, como os ácidos acético, propiônico e butírico, provém da fermentação, processo anaeróbio realizado pela microbiota ruimal, e junto a este processo, parte do carbono também é transformada em CO₂ (PRIMAVESI, 2004).

A emissão de CH₄ pelos bovinos está diretamente ligado à sua alimentação. De acordo com Paulino (2009), dietas com maior teor de amido (em comparação com dietas ricas em carboidrato estrutural - por unidade de amido), dietas com alto teor de proteína, gramíneas de melhor valor nutritivo e manejo adequado das pastagens, geram menos CH₄ e, em contrapartida, alimentos muito fibrosos e secos, aumentam a produção de CH₄ pelos animais. Portanto, a mitigação da emissão de metano pelos ruminantes está ligada a melhoria na dieta, suplementação alimentar e melhoria dos pastos, que, por consequência, irão melhorar a produtividade animal (COTTLE et al., 2011). Em trabalho desenvolvido com três dietas, sendo elas: feno de baixa qualidade, feno de alta qualidade e dieta rica em grãos, evidenciou-se que em dietas a base de volumoso, as perdas energéticas na forma de CH₄ foram em média de 10,9% e, a dieta rica em grãos, de 6,7% (KURIHARA et al., 1999).

Em sistemas de produção que utilizam pasto, a relação parede celular/conteúdo celular da planta forrageira (PEDREIRA, 2009) tem influência na produção do CH₄. Gramíneas do

grupo C₃ (clima temperado) possuem menores proporções de fibra que as plantas de metabolismo C₄ (clima tropical), Nelson & Moser (1994). Esta variabilidade entre os grupos C₃ e C₄ é o que pode favorecer maior produção, ou não, de CH₄ (g/dia), entretanto se a digestibilidade e a velocidade de fermentação desta fibra forem baixas, haverá menos substrato para os microrganismos metanogênicos (BERCHIELLI, 2012).

O manejo adequado dos pastos evitará o acúmulo de material fibroso e, assim, poderá contribuir para a diminuição da emissão de CH₄ (BELEOSOFF, 2013). Ainda, segundo o mesmo autor, quando existe equilíbrio entre os nutrientes disponíveis no pasto e os nutrientes que podem ser aproveitados pela microbiota ruminal, há reduções na produção de CH₄, visto que a eficiência do processo fermentativo no rúmen depende da adição de nutrientes no ambiente ruminal para diminuir a ação das bactérias metanogênicas (COTTLE, 2011).

Os processos metabólicos fermentativos dos animais, juntamente com a utilização de fertilizantes minerais, faz com que os sistemas que utilizam pastos para os ruminantes, naturalmente, contribuam para a emissão dos GEE (PAULINO, 2009). O que irá determinar a capacidade de mitigar ou emitir os gases de efeito estufa é o equilíbrio entre as trocas gasosas que ocorrem no sistema solo-planta-animal.

No compartimento solo, a produção de CH₄ depende da atividade de organismos metanogênicos (GARRITY et al., 2007). As bactérias metanogênicas são anaeróbicas e utilizam o C, presente no solo, como aceptor de elétrons, resultando, portanto, na produção de CH₄ (BODEGOM & STAMS, 1999). O que proporciona a estocagem de carbono no solo são os resíduos vegetais depositados ou fertilizantes orgânicos que, em condições anaeróbicas, o carbono é liberado à atmosfera na forma de CH₄ (LIMA, 2002). A variação na emissão do CH₄ também pode se dar pela disponibilidade do carbono lábil, dependente da dinâmica de matéria orgânica e tipo de solo em que o a planta cresce e se desenvolve, o que pode alterar a produção de resíduos e material radicular (SCHÜTZ et al., 1991).

Portanto, o método de pastejo empregado no sistema, em que há mudança na forma de uso da planta forrageira, implicará diretamente na quantidade de resíduos orgânicos no solo, que irá afetar as taxas de acúmulo de carbono no solo. Outro fator que interfere na emissão do CH₄ é o nitrogênio (N) que, aplicado na forma de fertilizante, também pode influenciar no fluxo de CH₄ (SIQUEIRA NETO, 2011). Entretanto, de acordo com Mosier et al. (2004), isso pode ocorrer porque o N seria capaz de inibir a atividade dos microrganismos capazes de oxidar o CH₄, mas esta relação ainda não é totalmente explicada.

4.3. Emissão de Dióxido de Carbono

Dentre as emissões de GEE, a estimativa é que a agropecuária contribua com 91% das emissões de CH₄, 94% das emissões de N₂O e 70% das emissões de CO₂ (CERRI & CERRI, 2007), e no Brasil, a pecuária é responsável por 66% das emissões de CO₂, (WATANABE, 2016).

A liberação de CO₂ na atmosfera, geralmente, provém da queima de combustíveis fósseis e renováveis e, a agricultura brasileira, participa desta liberação por meio dos desmatamentos de florestas para o cultivo agrícola ou para áreas de pastos (PAULINO, 2009). A emissão do CO₂ pelo solo dá-se após reação aeróbia ou anaeróbia (WUEBBLER & HAYHOE, 2002). Este gás, é absorvido pelas plantas e utilizado como matéria prima para fotossíntese e fixado por microorganismos no solo (VIEIRA, 2010).

Em decorrência de mudança do uso da terra, o solo pode se tornar um importante emissor de carbono a atmosfera (DAVIDSON & TRUMBORA, 1995), podendo aumentar significativamente quando as áreas de pasto estão em fase de degradação (CARVALHO, 2009), causada pelo mau uso dos recursos naturais e manejo inadequado das plantas.

O resultado da concentração de carbono no solo é dependente do balanço entre a quantidade de C emitido e estocado (CERRI et al., 2011). E, segundo Machado (2005), os principais processos envolvidos para a perda de C estocado no solo são a decomposição, lixiviação e erosão e, para o sequestro do carbono, são a agregação, humificação e sedimentação do solo.

Para os estoques de carbono, a remoção da cobertura vegetal pode refletir de maneira negativa nos ciclos biológicos (COUTINHO, 2010). O carbono orgânico é mais estável em solos de vegetação natural, resultado do sequestro de CO₂ da atmosfera pelas plantas. A emissão para a atmosfera dá-se pela decomposição microbiana (COSTA, 2006). Entretanto, mesmo com a mudança do uso da terra, de vegetação nativa para áreas cultivadas, o bom manejo e recuperação das pastagens, podem contribuir para diminuir as emissões dos GEE (SEGNINI et al., 2007), pelo acúmulo de massa de forragem e resíduos (OLIVEIRA, 2007) e, por consequência, matéria orgânica, gerando o estoque de carbono.

Em estudos realizados por Cerri et al. (2006), ao comparar o estoque de carbono de vegetação natural com áreas de pastagem nos biomas brasileiros, demonstram-se que o acúmulo de carbono pode se assemelhar ou ser superior às áreas de vegetação natural e que, em contrapartida, as áreas de pastagens degradadas perdem o carbono acumulado.

A decomposição ou mineralização da material orgânica dependerá das práticas de manejo adotado à cultura. O carbono depositado no solo origina-se da liteira e das raízes senescentes, sendo que o primeiro provém do material senescente das plantas, que se decompõe na superfície do solo e que, aos poucos, se integra às camadas mais profundas e, o segundo, são as raízes das plantas já senescentes e que darão origem à matéria orgânica do solo (ROSENDO, 2012).

4.4. Emissão de Óxido Nitroso

O aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera vem intensificando nas últimas décadas, fato este que pode contribuir com as mudanças climáticas. Dentre os principais gases participantes do aquecimento global, o óxido nitroso (N_2O) destaca-se por sua capacidade energética de retenção de calor. De acordo com o IPCC (2007), as concentrações de N_2O na atmosfera tem aumentado notoriamente, devido às atividades humanas desde 1750.

Para a economia, o gás de efeito estufa de maior destaque e importância é o CO_2 , entretanto, para a agricultura, o gás de maior impacto é o N_2O , pois sua emissão está diretamente ligada ao uso de fertilizantes nitrogenados e ao manejo do solo (VIEIRA et al., 2010). E, de acordo com o IPCC (2007), mesmo em menores concentrações que o CO_2 , a emissão dos fluxos de N_2O tem grande importância no quadro do aquecimento global, pois equivale a um potencial de 298 vezes maior que o CO_2 .

As emissões do gás N_2O à atmosfera estão ligadas às práticas antrópicas na agricultura, que disponibilizam o nitrogênio (N) ao solo, por meio da fertilização nitrogenada (SMITH et al., 1998). Segundo estimativas do IPCC (2006), aproximadamente, 1% de todo fertilizante nitrogenado aplicado ao solo retorna à atmosfera na forma de N_2O . A urina e fezes dos animais também são fontes que disponibilizam N ao solo (BERNDT et al., 2013). Contudo, Saggart et al. (2007) ressaltam que mineralização do N depositado na superfície do solo, na forma orgânica, pode ser baixa e devido a grande variabilidade na distribuição dos dejetos nos pastos e, Ferreira (1995) ressalta que as perdas de N da urina são maiores que das fezes.

Segundo Carmo et al. (2005), as pastagens, por possuírem menor quantidade de N no sistema, emitem menor quantidade de N_2O que as áreas de vegetação natural. E além disso, a emissão de N_2O pode ser diminuída por meio da rotação de culturas na área e o uso de leguminosas, que possuem a capacidade de fixação de N no solo, colaborando para a redução da emissão deste gás (URQUIAGA et al., 2010).

Na agricultura, os processos de nitrificação e desnitrificação são os responsáveis pela produção de N_2O no solo. A nitrificação ocorre pelo processo de oxidação do amônio (NH_4^+), transformando-o em nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) (VIEIRA, 2010), ocorrida, principalmente, por bactérias autotróficas (GIACOMI, 2006). A desnitrificação, processo heterotrófico, em que bactérias (*Pseudomonas*) empregam o carbono orgânico como fonte redutora e, quando o oxigênio (O_2) em baixa concentração, utilizam os N_2O como aceptores de elétrons, formando os compostos óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N_2O) e nitrogênio (N_2) (RITCHIE e NICHOLAS, 1972).

Porém, em revisão apresentada por Sarmighausen (2011), o autor destaca que em muitos trabalhos há incertezas a respeito da emissão de N_2O , devido sua grande variação, mesmo quando repetido por vários anos na mesma área, entretanto, os autores descrevem que a entrada de nutrientes no sistema causa uma variação na emissão do N_2O , porém de curta duração e que diminuem ao longo do dia. Portanto, é necessária o aprimoramento e a continuidade das técnicas de avaliação de N_2O , gerando dados cada vez mais precisos para o sistema agropecuário do Brasil.

3. Hipótese

O pastejo contínuo conduz a baixas emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera, porém, a produtividade e a qualidade da forragem proporcionam balanço de carbono menos favorável em comparação com o sistema de pastejo rotativo, função da menor emissão de metano entérico e maior sequestro de carbono no solo.

4. Objetivo

4.1. Objetivo geral

Avaliar o desempenho e a produtividade de bovinos de corte e o potencial de mitigar as emissões dos gases de efeito estufa em dois sistemas de produção, alterados pelo método de pastejo, correção e adubação.

4.2. Objetivos específicos

I - Qualificar a emissão de metano por bovinos de corte, de acordo com o método de pastejo, contínuo ou rotativo;

II - Qualificar a emissão de CH₄, CO₂ e N₂O no sistema solo-planta e mensurar o sequestro de carbono em áreas de pastagem e vegetação natural;

III – Determinar o fator de emissão de nitrogênio na forma de óxido nitroso do fertilizante nitrogenado.

5. Material e Métodos

5.1 Área experimental

O experimento foi conduzido na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo (FZEA-USP), Campus Fernando Costa, Pirassununga, São Paulo, Brasil. A área total experimental de 34,7 hectares (ha), cultivada com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (Hochst ex A. Rich.) Stapf, foi estabelecida em 1999.

As avaliações foram realizadas em duas áreas de pastagem e em área de mata preservada a 100 metros de distância. Além destas, havia também uma área denominada reserva, onde permaneciam os animais reguladores, quando não estavam sendo utilizados para adequação da taxa de lotação (Figura 1).

O período experimental ocorreu entre 13/01/2014 e 20/10/2014, compreendendo as estações do ano verão, outono, inverno e início da primavera. A fase de adaptação e uniformização da área experimental ocorreu de 02/12/13 a 12/01/14. Anterior a implantação do experimento, as áreas destinadas aos métodos de pastejo, contínuo ou rotativo, eram utilizadas frequentemente com os mesmos métodos de pastejo.

Figura 1. Vista aérea da área experimental cultivada com *Brchiaria brizantha* cv. Marandu, dividida em dois sistema de produção, utilizando os métodos de lotação contínua e rotativa rotativo e contínuo, FZEA-USP, Pirassununga, SP
Fonte: Google Earth

5.2 Condições edafoclimáticas e adubações

O clima da região é o Cwa na classificação de Köppen & Geiger (1928) com temperatura média anual de 23 °C e precipitação total média anual de 1.298 mm. Os dados climáticos foram obtidos de uma estação meteorológica informatizada, com registro a cada dez minutos, localizada a cerca de 1.700 metros da área experimental. No período de janeiro a dezembro de 2014, a temperatura mínima média esteve abaixo dos 15 °C apenas entre maio e setembro, enquanto que a temperatura média no ano variou de 18 a 25 °C (Figura 2). No que diz respeito à precipitação, observou-se que o ano de 2014 foi atípico, quando a precipitação total, de janeiro a outubro, foi de 419,4 mm, muito abaixo do esperado, conforme médias anuais históricas registradas (Figura 3).

Figura 2. Temperatura (°C) mínima, média e máxima, radiação solar (Kw/m²) e precipitação mensal (mm)

Fonte: Estação Meteorológica FZEA/USP

Figura 3: Precipitação (mm) histórica (últimos 67 anos) e do ano de 2014, entre os meses de janeiro e outubro, no município de Pirassununga, SP.

Fonte: Estação Meteorológica FZEA/USP

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2013). A área de lotação rotativa apresentou a seguinte análise química: pH (CaCl₂) 5,4; P_{resina} (mg dm⁻³) 9; MO (g dm⁻³) 36; S (mg dm⁻³) 16; K (mmol_c dm⁻³) 2,6; Ca (mmol_c dm⁻³) 22; Mg (mmol_c dm⁻³) 8; H+Al (mmol_c dm⁻³) 23; CTC (mmol_c dm⁻³) 55; SB (mmol_c dm⁻³) 33; V (%) 59; B (mg dm⁻³) 0,39; Cu (mg dm⁻³) 2,4; Fe (mg dm⁻³) 33; Mn (mg dm⁻³) 23,1; Zn (mg dm⁻³) 2,0.

A área de lotação contínua apresentou a seguinte análise química: pH (CaCl₂) 5,1; P_{resina} (mg dm⁻³) 8,7; MO (g dm⁻³) 17,7; S (mg dm⁻³) 8,8; K (mmol_c dm⁻³) 1,6; Ca (mmol_c dm⁻³) 17,3; Mg (mmol_c dm⁻³) 9,5; H+Al (mmol_c dm⁻³) 29,1; CTC (mmol_c dm⁻³) 57,3; SB (mmol_c dm⁻³) 28,5; V (%) 49,5; B (mg dm⁻³) 0,38; Cu (mg dm⁻³) 2,4; Fe (mg dm⁻³) 45; Mn (mg dm⁻³) 19; Zn (mg dm⁻³) 4,1.

Dos dois sistemas de produção, apenas aquele que utilizou o método de lotação rotativa recebeu o fertilizante 20-00-20 (N-P₂O₅-K₂O) na dose de 300 kg/ha, dividida em duas aplicações de 150kg/ha (cada), sendo a primeira no dia 03 de fevereiro e a segunda no dia 15 de abril de 2014. Não houve necessidade de realizar a correção do solo pela calagem.

5.3 Métodos de pastejo e animais experimentais

O método rotativo de pastejo, com taxa de lotação variável, foi implantado em uma área de 9,42 ha, dividida em seis unidades experimentais (UE) de 1,57 ha cada, subdivididas em cinco piquetes, de 0,315 ha (Figura 6). No período experimental foram realizados oito

ciclos de pastejo de 35 dias cada, sendo sete dias de ocupação e 28 dias de descanso, num período de 280 dias.

O método contínuo de pastejo, com taxa de lotação variável, foi implantado em uma área total de 12,6 ha, dividida em três unidades experimentais de 3,10; 3,86 e 5,63 ha para, respectivamente, contínuo 1, 2 e 3 (Figura 4). Assim como no método rotativo, o período de avaliação foi de 280 dias, divididos, também, em oito ciclos (simultâneo ao método rotativo), para avaliação da pastagem e desempenho animal.

Figura 4. Croqui da área experimental, evidenciando a área destinada ao método rotativo de pastejo (dividida em seis unidades experimentais, com cinco piquetes cada) e, a área destinada ao método contínuo de pastejo, com as três unidades. Imagem ilustrativa, sem proporções reais

Os animais utilizados foram novilhas da raça Nelore, com 18 meses de idade e peso inicial, aproximadamente, de 280 kg, provenientes do rebanho da Universidade de São Paulo, Campus Fernando Costa (Figura 5). Em cada unidade experimental foram utilizadas três novilhas testers, totalizando, 27 animais. No método rotativo de pastejo, nove animais eram destinados à avaliação de emissão de gases, consumo de forragem, variáveis de peso vivo (PV) e ganho médio diário (GMD) e, outros nove, apenas para mensuração de PV e GMD, sendo os demais reguladores. Já, no método contínuo de pastejo, nove animais foram destinados para a avaliação de emissão de gases, consumo de forragem, PV e GMD. Para o ajuste da taxa de lotação, foram utilizados animais de mesmo peso médio, considerados como reguladores e que permaneciam na área reserva.

Figura 5. Novilhas da raça Nelore em pastejo em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.
(Foto: Vanessa C. Piotto, 2014)

5.4. Avaliações do pasto

Para a estimativa da massa de forragem, uma vez por ciclo, foi utilizado o método da dupla amostragem proposto por Wilm; Costello; Kipple (1944), que consiste em correlacionar a altura do pasto com sua massa de forragem.

No início de cada ciclo de pastejo, no primeiro piquete das unidades experimentais, eram avaliados 20 pontos representativos da estrutura média dos pastos sob lotação contínua e rotativa, separadamente. Em cada área, cinco pontos eram marcados para a colheita de forragem (Figura 6). O primeiro ponto era o mais baixo e o último o mais alto e os demais, intermediários, alocando-se uma moldura de ferro de 0,5 x 0,5 metro (0,25 m²) em cada um deles. No interior da estrutura metálica, eram medidas cinco alturas representativas do dossel, com o uso de uma régua graduada em centímetros e, posteriormente, cortava-se a forragem ao nível do solo, com auxílio de uma roçadora da marca Still® (Figura 7). O material colhido era pesado e subamostrado, levado à estufa a 65°C com ventilação de ar forçada por 72 horas, para determinar o teor de MS.

Figura 6: Área de pasto de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sendo avaliada com uma régua graduada em centímetros.

(Foto: Vanessa C. Piotto, 2014)

Figura 7. Moldura de ferro, 0,5 x 0,5 m, delimitando a área de corte em pasto de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu

(Foto: Vanessa C. Piotto, 2014)

Ao inserir os dados de altura do pasto e a massa de forragem correspondente em planilha excel, foi possível determinar a relação linear entre as variáveis por intermédio da equação $y \text{ (massa de forragem)} = a + b \times \text{(altura do pasto)}$. Assim, fazendo-se a leitura da altura do pasto em 30 pontos (Figura 8) era possível estimar a massa de forragem (kg/ha). A oferta de forragem (OF) calculada em kg MS de forragem 100 kg de peso animal⁻¹ dia⁻¹ foi mantida próximo a 16%, mediante o ajuste da taxa de lotação ao longo dos ciclos de pastejo, utilizando a entrada e saída de animais reguladores, mantidos em pasto reserva com a mesma cultivar.

Figura 8: Vista aérea da área de pastejo rotativo. Os pontilhados brancos indicam como era determinado os 30 pontos de altura da forragem.
(Foto: Vanessa C. Piotto, 2014)

A altura do relvado, no pré e pós-pastejo, foi avaliada em todos os piquetes das unidades experimentais, sendo no pré-pastejo um dia antes dos animais entrarem na área e, no pós-pastejo, imediatamente após a saída dos animais, coletando-se 30 medidas de altura, utilizando-se de uma régua graduada em centímetros. A altura média do pasto avaliada no início do ciclo de pastejo refere-se à média de altura dos cinco piquetes.

No período de pré-pastejo foram coletadas amostras para determinação da composição bromatológica e morfológica da forragem colhida. As amostras foram colhidas em dois piquetes em cada unidade experimental, a cada ciclo de pastejo, em três pontos representativos da área. O corte da forragem foi mecânico, utilizando uma roçadeira da marca Stihl®, ao nível do solo, em uma área delimitada por um quadro de ferro de 0,25m² (Figura 9).

O material colhido era pesado e congelado a -10°C, para posterior separação em três componentes: lâmina foliar (LF), colmo+bainha (CB) e material senescente ou morto (MM) (Figura 10). Cada componente depois de pesado (massa original) era levado à estufa de circulação de ar forçada, a 65°C por 72 horas e pesado novamente (massa seca e constante). Posteriormente, o material foi moído em um moinho tipo Willey, em peneira de malha de 1 milímetro e acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificados, e armazenados até o início das análises laboratoriais.

Figura 9: a) Quadro de ferro de $0,25\text{m}^2$, jogado a lanço, utilizado para determinar, aleatoriamente, a área que será amostrada; b) capim-marandu que será coletado; c) uso da roçadeira da marca Stihl®, ao nível do solo, para coletar a massa de forragem contida no quadro de ferro.

(Foto: Vanessa C. Piotto, 2014)

Figura 10: Componentes estruturais da planta: a) lâmina foliar (LF); b) colmo+bainha (CB); c) material senescente ou morto (MM).

(Foto: Vanessa C. Piotto, 2014)

A cada ciclo de pastejo, foi feita uma colheita simulando o pastejo animal, denominada “Hand Plucking” ou pastejo simulado (Figura 11), de acordo com o método de Gomes (2003), para determinar a digestibilidade *in vitro* da matéria seca da planta forrageira.

Figura 11: a) animal pastejando; b, c) coleta do capim-marandu simulando o ato do pastejo do animal (hand plucking).

(Foto: Vanessa C. Piotto, 2014)

No sistema com lotação rotativa, uma vez por ciclo, a colheita de forragem era feita em um piquete, no primeiro e no sétimo dia de pastejo. Quando os animais estavam em período de coleta de fezes, esta era realizada no mesmo piquete em que os animais estavam em pastejo. Já, para o sistema que utilizava lotação contínua, as colheitas de forragem efetuadas em pastejo simulado e sempre na mesma área em que os animais permaneciam, estando em período de coleta ou não.

5.4.1 Análises laboratoriais

As amostras coletadas nas unidades experimentais, após serem secas em estufa de circulação forçada a 65°C por 72 horas, foram moídas em moinho tipo Willey, com peneira de 1 milímetro e acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificados.

As amostras de lamina foliar e colmo+bainha foram utilizadas para determinar o teor de matéria seca (MS) a 105°C e proteína bruta (PB) de acordo com a AOAC (1980), determinação de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) segundo método proposto por Van Soest et al., (1991), sem o uso de α -amilase e sulfito de sódio,

utilizando o sistema ANKOM de determinação de fibras e, lignina (LIG) e digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS), utilizando-se o NIR ("Near Infrared Reflectance").

5.5 Metano Entérico

Para a coleta do metano entérico, foi utilizada o método desenvolvido por Johnson e Jhonson (1995), na University of Washington e, adaptado por Primavesi et al. (2002), que consiste no uso do SF₆ (hexafluoreto de enxofre), gás traçador de emissão de metano (CH₄).

Uma cápsula (tubo de permeação), contendo o gás SF₆, com fluxo constante e conhecido, foi inserida no rúmen do animal. O padrão de emissão do gás SF₆ apresenta o mesmo padrão de emissão de CH₄, em que as concentrações do gás traçador (SF₆) possibilita quantificar o CH₄ na amostra coletada.

O CH₄ expelido pelas narinas e boca do animal, era captado por meio de um tubo de silicone, transportado por um tubo capilar e depositado em um coletor-armazenador, denominado “canga” (tubo de PVC, fechado e moldado para encaixar no pescoço do animal), acoplado a um cabresto (Figura 12).

Figura 12: a) canga feita de PVC, já com vácuo, para coleta do gás expelido pelos animais; b) canga acoplada ao cabresto; c) tubo de silicone ligado ao cabresto, alocado diretamente na narina do animal; d) novilhas Nelore com canga e cabresto para a coleta de gases

(Foto: Vanessa C. Piotto, 2014)

Para cada tratamento experimental, lotação rotativa e contínua, foram usadas nove novilhas testers, de idade e peso corporal uniformes, distribuídas em três piquetes, totalizando, 18 animais (três piquetes na lotação contínua e três na lotação rotativa).

Cada animal passava por um período de três a cinco dias de adaptação ao uso do cabresto e canga, na época de coleta do gás, sem que fosse necessário retirá-los dos piquetes.

As coletas foram realizadas uma vez por estação (verão – janeiro; outono – maio; inverno – julho; primavera - setembro), durante cinco dias consecutivos, sempre no período da manhã, tentando respeitar a mesma ordem dos animais, para que não houvesse grande divergência de horários de coleta de um dia para o outro, garantindo 24 horas de coleta de gás.

Caso a canga de algum animal fosse danificada (Figura 13) ou houvesse algum problema no capilar coletor do gás, a coleta era estendida por mais um dia, até completar as cinco coletas preconizadas. Todos os dias eram preparados, também, dois sistemas de tubo capilar acoplado à canga, para coleta do ar presente no ambiente. Essas cangas eram denominadas como “branco”, pois continham a concentração basal de CH_4 do ambiente.

Figura 13. Animal tester com a canga coletora danificada
(Foto: Vanessa C. Piotto, 2014)

A cada ciclo, eram coletadas 90 amostras dos animais (18 animais x 5 dias) e 10 “brancos” (2 amostras x 5 dias). Ao final das quatro estações, foram coletadas 400 amostras. A cada período de coleta (cinco dias), as amostras eram enviadas para Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna, SP, Brasil e analisadas em cromatógrafo gasoso.

O cromatógrafo gasoso é equipado com dois injetores capilares ligados a dois “loops” de aço inoxidável, com capacidade para 0,5 mL, e duas válvulas de seis vias com controle eletrônico de pressão, duas colunas megabore de 30 metros e dois detetores: FID para

metano e microECD para o traçador. A calibração é feita com tres diferentes concentrações certificadas de SF₆ (nível ppt) e uma concentração certificada de metano (20 ppm). Mede-se a pressão inicial da amostra de gases ruminais, com medidor digital, dilui-se a amostra com N₂ de alta pureza até atingir uma pressão positiva e calcula-se o fator de diluição. Injeta-se as amostras no cromatógrafo e o cálculo das concentrações feito através de curva de regressão.

5.6 Estimativa do consumo de Forragem

A estimativa do consumo de forragem foi determinada pelo uso do marcador externo dióxido de titânio, por meio do cálculo da Produção Fecal Total (PFT) e, por meio da digestibilidade dos alimentos, determinada com o uso do marcador interno Fibra Insolúvel em Detergente Neutro Indigestível (FDNi).

Uma vez por estação, durante 12 dias consecutivos, os animais receberam 20 gramas do dióxido de titânio, divididos em dois períodos diários (08:00h e 15:00h), envolvidas em péletes de papel toalha e administrado ao animal com o auxílio de uma sonda exofágica. Do oitavo ao décimo segundo dia, amostras de fezes eram coletadas diretamente do reto, em ambos os períodos e congeladas. Posteriormente, as amostras foram secas e moídas para análise da concentração fecal de titânio, de acordo com o método descrito por Myers et al. (2004).

O marcador interno, FDNi, foi utilizado para determinar a digestibilidade dos alimentos. As amostras de forragem e fezes foram acondicionadas em bolsas de filtro de TNT 100 g/m² (VALENTE et al., 2011) e incubadas no rúmen do animal por 240 horas (CASALI et al., 2008). As bolsas com amostra, após a remoção do rúmen, eram lavadas em água corrente até o total clareamento. As amostras eram retiradas, secas a 105°C por 12 horas para a determinação da fibra em detergente neutro (FDN), de acordo com o método descrito por Van Soest et al. (1991). O resíduo remanescente foi considerado como o teor FDNi.

A indigestibilidade final dos alimentos foi determinada pelo FDNi do alimento dividido pelo FDNi das fezes do animal.

A produção fecal total (PFT) foi determinada por meio da equação abaixo:

$$\text{PFT (kg/dia)} = \frac{\text{Quantidade de indicador administrado (g)}}{\text{Concentração do indicador nas fezes (g/kg)}}$$

O Consumo de Matéria Seca de forragem (CMSF) foi determinado pela seguinte equação:

$$\text{CMSF (kg/dia)} = \frac{\text{PFT (kg/dia)}}{\text{Indigestibilidade do alimento (g/kg)}}$$

5.7. Fluxo de gases de efeito estufa no solo

5.7.1. Localização das câmaras e adubação

Para a avaliação da emissão de gases no sistema solo-planta, utilizou-se o sistema fechado, com câmaras fechadas. As câmaras foram construídas em cloreto de polivinil (PVC), com 30 de diâmetro e 20 cm de altura - 0,014 m³, a base da câmara, era fixada no solo a uma profundidade de 3-5 cm, permanecendo nas áreas durante todo período de estudo.

Foram alocadas, no total, 20 câmaras, distribuídas em três áreas: oito câmaras na área de lotação rotativa com adubação (LRCA), quatro na área lotação rotativa sem adubação (LRSA) e oito na área de lotação contínua (LCONT).

Na área de lotação rotativa, foram alocadas 12 câmaras, de duas formas: oito câmaras permaneceram fixas no piquete, recebendo a adubação nitrogenada (LRCA) e, as outras quatro camaras, foram alocadas no mesmo piquete em que as outras oito estavam, porém, em uma área exluída da adubação nitrogenada (LRSA). Quando ia-se realizar a adubação no piquete, as quatro câmaras que não deveriam receber adubação nitrogenada, eram realocadas dentro da mesma área e cobertas, pra que não houvesse interferência da adubação aplicada, somente haveria o resíduo da adubação anterior (Figura 14). O objetivo de manter estas 12 câmaras na mesma área foi de submete-las a mesma taxa de lotação e condições de manejo no pasto, sendo que oito recebiam adubação nitrogenada e as outras quatro, não recebiam.

Na área LRCA, para que todas as câmaras recebessem a mesma quantidade de nutrientes, quando da adubação, havia seu isolamento com lona plástica no momento da passagem do trator (Figura 15). Em seguida, havia a retirada da lona plástica e realizava a adubação dentro da câmara com doses equivalentes de nutrientes que eram depositadas no pasto. Utilizou-se a fórmula 20-00-20 na dose de 2,12 g de N por câmara. Já para o sistema LRSA, foi aplicado apenas 0,71g de KCl por câmara.

Figura 14. a) área das câmaras alocadas no piquete em lotação rotativa que não recebia adubação; b) exclusão das câmaras no momento da adubação.

(Foto: Vanessa C. Piotto, 2014)

Figura 15. a) área de lotação rotativa recebendo adubação nitrogenada; b) área de lotação rotativa recebendo adubação nitrogenada e a câmara de PVC, fechada com saco plástico, para excluí-la da adubação realizada mecanicamente.

(Foto: Vanessa C. Piotto, 2014)

5.7.2. Coleta de gases de efeito estufa

Ao longo do período experimental, foram coletadas amostras para a avaliação dos gases CH_4 , CO_2 e N_2O , duas vezes por semana, ao longo das quatro estações do ano, nos dois sistemas com lotação contínua e rotativa.

Os fluxos dos gases foram medidos de acordo com o método descrito por Varner et al. (2003), usando câmaras estáticas de PVC. A câmara possui uma base de PVC redonda (30 cm de diâmetro, 20 cm de altura e uma tampa, também feita de PVC, de 10 cm de altura, contendo uma pequena válvula para regular e equilibrar a pressão interna e outra para a coleta dos gases (Figura 16).

Figura 16: a) base da câmara de PVC; b) tampa da câmara feita com PVC, contendo um válvula para regular a pressão interna e outra para coleta dos gases; c) base da câmara fechada com a tampa.

As coletas dos gases eram realizadas sempre no período da manhã, entre 8:00 e 11:00 horas, em quatro tempos após o fechamento da câmara. O primeiro, segundo, terceiro e quarto tempos referiam-se, respectivamente, a 0 (imediatamente após o fechamento da câmara), 10, 20 e 30 minutos após o fechamento da câmara.

Os gases acumulados no interior da câmara foram amostrados utilizando uma seringa de plástico de 60 mL BD (Becton, Dickinson and Co., Franklin Lakes, NJ, EUA) e, imediatamente, as amostras coletadas foram transferidas frascos de vidro, previamente evacuados, de 20 mL, devidamente identificado (Figura 17).

Figura 17: Momento da coleta dos gases de efeito estufa a) coleta dos gases com o auxílio de uma seringa de 60 mL; b) depósito dos gases em frascos de vidro, previamente evacuadoa; c) coleta dos gases nos quatro tempos (0, 10 20 e 30 minutos após o fechamento da câmara).

As amostras dos gases foram analisadas na Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna, SP, Brasil, utilizando um Shimadzu GC-2014 cromatógrafo a gás (Shimadzu Co., Columbia, MD, EUA). O cromatógrafo foi equipado com uma coluna Porapak Q embalada, um detector de captura eletrônica para analisar N_2O e um detector de ionização de chama para quantificar o CO_2 e CH_4 . Antes da detecção, CO_2 é reduzido para CH_4 usando um methanizer. Fluxos de solo N_2O foram calculados de acordo com Jantalia et al. (2008):

$$F = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{A} \times \frac{m}{V_m}$$

Onde:

- $\Delta C/\Delta t$ é a mudança na concentração de gases de efeito estufa (GEE) dentro da câmara durante o período (Δt) que a câmara está fechada;

- V e A são, respectivamente, o volume da câmara e a área de solo coberto pela câmara; m é a massa molecular de cada GEE (CO_2 , CH_4 e N_2O).

A taxa de emissão para cada experimento, foi avaliada utilizando uma regressão linear, com base na curva gerada a partir de valores dos gases medidos ao longo do intervalo de 30 min (BRAGA et al., 2013).

Fluxos acumulados em uma base de hectare foram calculados para cada tratamento usando valores de emissão observados no pastejo contínuo e rotacionado. Estimativas cumulativas anuais de GEE foram calculadas por interpolação linear entre eventos de amostragem (ALLEN et al., 2010).

Os fatores de emissão para N_2O foram calculados subtraindo-se as taxas de emissão cumulativa de parcelas tratadas com fertilizantes N daqueles que não foram. Os cálculos seguiram os métodos utilizados pelo IPCC (2006) e Allen et al. (2010).

5.8. Densidade aparente do solo

A densidade aparente do solo (g/cm^3) é definida como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo, seca a $105^\circ C$, e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros.

Para determinação da densidade aparente, no período pré-experimental (dezembro/2012), foram coletadas cinco amostras em cada um dos sistemas, com lotação contínua e rotativa, e cinco em uma região de mata, onde não havia interferência humana ou dos bovinos. Após o período experimental (outubro/2015), foram coletadas amostras de solo somente nos piquetes com os dois métodos de lotação, presume-se que a densidade da mata se mantém mais estável.

Foi utilizado o método do anel volumétrico, metálico e cilíndrico, de volume conhecido, que possibilita a coleta de amostras indeformadas de solo. Para que não houvesse compactação da amostra, utilizou-se um suporte que permitia o anel entrar no solo de forma homogênea, sem danificar a estrutura do solo presente. Na remoção, a amostra era nivelada exatamente de acordo com a delimitação do anel volumétrico (Figura 18).

Em cada área, foram abertas trincheiras de, aproximadamente, um metro de profundidade e, no perfil do solo, foram coletadas duas amostras nas profundidades: 0 a 5; 5 a 10; 10 a 20; 20 a 40 e 40 a 60 cm, em quatro repetições. Ressalta-se que, as trincheiras foram abertas na mesma área onde as câmaras de coleta de GEE foram alocadas. Após as coletas, as amostras foram levadas ao laboratório de Solos das Agrárias da FZEA/USP, Campus Fernando Costa, pesadas e levadas à estufa a $105^\circ C$ por 48 horas ou até obter peso constante.

Figura 18. Detalhes da amostragem de solo para análise de densidade

Por meio da diferença de peso (inicial-final), foi possível determinar o teor de umidade da amostra e, a densidade do solo, utilizando a fórmula:

$$\text{Densidade aparente (g /cm}^3\text{)} = a / b$$

Onde:

a = peso da amostra seca a 105°C (g)

b = volume do anel ou cilindro (cm³)

5.9. Estoque de Carbono e Nitrogênio no solo

Para determinação do estoque de carbono acumulado, foram coletadas amostras nos períodos de pré e pós-experimento, nos sistemas com lotação contínua e rotativa e na mata nativa, ambiente sem a intervenção humana ou animal.

Com um trado Holandês, as amostras foram coletadas até a profundidade de um metro (mesma área onde as câmaras de GEE foram alocadas), nas profundidades, 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm. Para cada profundidade, foram coletadas quatro subamostras para compor uma amostra composta, em quatro repetições por área.

As amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 40°C e por 72 horas ou até obter peso constante. Após a secagem, as amostras foram passadas em uma peneira de malha de 2 milímetros (mm), homogeneizada, quarteadas e separada uma

subamostra de, aproximadamente, 15 gramas (g). Essa subamostra, foi moída utilizando um pistilo de porcelana e passada em peneira de 100 mesh para quantificação dos teores totais de C e N em analisador elementar LECO CN na Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP.

A partir das concentrações de C e N nos solos e das densidades aparentes, foram calculados os estoques em cada camada e comparados os tratamentos dentro de cada área experimental.

5.10. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). A comparação foi feita a partir da análise da dispersão presente no conjunto dos dados, observando o conjunto de dados apresenta n grupos de observações e a normalidade dos dados. O teste Tukey foi aplicado com nível de significância de 5% ($p < 0,05$) para comparação das médias dos métodos de pastejo avaliados. Utilizou-se da estatística descritiva para avaliar os efeitos de métodos de pastejo nas variáveis densidade aparente do solo e seus teores e estoques de carbono e nitrogênio, com os valores de mínimo, máximo e médio, desvio padrão da média e intervalo de confiança (IC), em comparação ao uso da terra.

6 Resultados e Discussão

6.1 – Oferta de forragem

Para as alturas do pasto, houve efeito de método de pastejo, estação do ano e a interação método de pastejo x estação do ano ($p < 0,05$). As leituras foram realizadas uma vez por semana, independente do método de pastejo.

As alturas de saída foram mensuradas assim como as alturas de entrada, uma vez por semana, entretanto, não há esta avaliação para o sistema contínuo, visto que os animais permaneciam na área ininterruptamente

Para ambos os métodos, as maiores alturas de pasto foram observadas no verão. No método de lotação rotativa (LROT), a menor altura foi verificada durante o inverno e as intermediárias no outono e primavera. Já, para o método de lotação contínua (LCONT) não houve variação da altura entre as demais estações do ano (Tabela 3).

Tabela 3. Altura do pasto de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu durante as quatro estações do ano, submetida ao método de pastejo rotativo e contínuo

Met. Pastejo	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Altura de entrada (cm)				
LROT	31,37 Aa	19,00 Ab	13,92 Ac	17,00 Ab
LCONT	19,50 Ba	14,65 Bb	11,90 Ab	13,70 Bb
Altura de saída (cm)				
LROT	22,91 a	15,33 b	9,66 c	13,20 b

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5%.

O critério mais comumente utilizado para no manejo das pastagens é a altura do pasto ou a proporção de seus componentes no dossel (quantidade de lâmina foliar e colmo+bainha). Para sistemas de lotação rotativa, a altura de entrada da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu é 25 e 30 cm e 15 cm de saída. Já para sistemas de lotação contínua, o preconizado, é uma altura média de 20 cm, ao longo das estações do ano.

As áreas de pasto utilizadas para os dois métodos de pastejo sempre foram manejadas utilizando os respectivos métodos desde o princípio da instalação da área experimental em 1999. Com a restrição hídrica ocorrida no ano da realização do experimento, o pasto de *Brachiaria brizantha*, no método de pastejo rotativo, apresentou a altura média de 20,3 cm na entrada e 15,3 cm na saída. No verão, a altura de entrada e de saída dos piquetes foram maiores que as preconizadas para esse cultivar. No outono, apenas a altura de saída, enquanto que no inverno e primavera, nem as de entrada e as de saída foram mantidas, conforme manejo

preconizado na lotação rotativa. Para manter o mínimo de animais testers na área experimental e conduzir as avaliações foi necessário sacrificar as alturas de manejo para os dois métodos de pastejo. Já, os pastos utilizados no método contínuo de pastejo apresentaram altura média de 14,9 cm, 5,1 cm a menos da altura recomendada.

A deficiência hídrica ocorrida no período experimental foi um fator comum para ambos os métodos de pastejo, entretanto, nos pastos de lotação contínua, não houve a reposição de nutrientes no solo por meio da fertilização química, o que ocorreu nos pastos de lotação rotativa. Esta combinação de deficiência hídrica e de nutrientes no solo, constituiu um fator estressante às plantas, fazendo com que alturas da gramínea ficassem, em média, 25% abaixo da altura esperada para este método de pastejo.

Com o passar das estações, a restrição hídrica se agravou, pois a precipitação ficou mais escassa, visto que era época das secas e temperaturas basais mais baixas, e também, a quantidade de luz necessária para que as plantas se desenvolvessem e crescessem, diminuía. O fotoperíodo e a seca tiveram influência marcante nos pastos em lotação rotativa, onde a partir do outono as plantas diminuíram sua altura de entrada (19,00 cm), chegando a seu menor valor no inverno (13,92 cm) e, na estação seguinte, começou a se recuperar novamente (17,00 cm). Como esperado, a altura média dos pastos na lotação rotativa sempre estiveram acima daquelas observadas nos pastos em lotação contínua, exceto no inverno (13,92 vs. 11,90 cm, $p>0,05$).

Nas Figuras 19 e 20, é possível visualizar que, assim como para a altura de manejo, a produção de matéria seca (MS) também foi afetada pela deficiência hídrica, sendo maiores no verão, decrescendo até a estação do inverno e começando a se recuperar na primavera, para ambos métodos de pastejo.

Figura 19. Massa seca de forragem (kg/ha) de capim-marandu sob lotação rotativa.

Figura 20. Massa seca de forragem (kg/ha) de capim-marandu sob lotação contínua.

Assim como as alturas do pasto tiveram influência do estresse hídrico e fotoperíodo, os componentes morfológicos do capim-marandu também mudaram. Para os percentuais de lâmina foliar (%LF) e colmo + bainha (%CB) houve interação ($p<0,05$) entre o método de pastejo e estação do ano, enquanto que, para a porcentagem de material morto (%MM) houve efeito significativo ($p<0,05$) apenas de estação do ano (Tabela 4).

Os percentuais médios de LF e CB foram diferentes entre métodos de pastejo apenas no verão. A participação de LF na massa de forragem foi superior no método contínuo (28,61 vs. 20,82%), enquanto que a de CB no método rotativo (32,83 vs. 24,05%).

Tabela 4. Componentes morfológicos do capim-marandu nas estações do ano e submetido a dois métodos de pastejo

Met. Pastejo	Verão	Outono	Inverno	Primavera
% LF				
LROT	20,82 Bb	28,38 Aa	23,46 Aab	22,74 Aab
LCONT	28,61 Aa	25,11 Aa	21,02 Aa	21,68 Aa
% CB				
LROT	32,83 Aa	22,19 Ab	19,26 Ab	14,96 Ac
LCONT	24,05 Ba	22,06 Aa	17,14 Ab	15,52 Ab
% MM				
LROT	46,34 Ab	43,54 Ab	57,27 Aa	62,29 Aa
LCONT	46,55 Ab	52,81 Aab	61,83 Aa	62,78 Aa

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5%

Comparando as médias entre estações para os dois métodos, observa-se que a participação de LF na massa de forragem foi superior apenas no outono comparado ao verão (28,38 vs. 20,82%), que não diferiram daquelas observadas no inverno e primavera. Na lotação contínua as médias foram iguais em todas as estações ($p>0,05$). A contribuição de CB na massa de forragem foi superior no verão ($p<0,05$) para a lotação rotativa (32,83%) e verão (24,05%) e outono (22,06%), $p<0,05$, para a lotação contínua. O percentual de MM foi maior no inverno (57,27%) e primavera (62,29%) na lotação rotativa, enquanto que na lotação contínua a participação de MM foi superior ($p<0,05$) no inverno (61,83%) e primavera (62,78%), diferindo apenas daquele observado no verão (46,55%).

Na lotação rotativa, embora a altura do pasto tenha sido maior no verão, outono e primavera, no pré-pastejo, a proporção de CB foi superior apenas no verão (32,83 vs. 24,05%). Essa maior proporção de colmo encontrada nos pastos em lotação rotativa, no início do experimento, deve-se à competição da população de plantas por luz, o que provoca o

alongamento dos colmos, aumentando sua proporção em relação à de lâmina foliar, parte da planta mais nutritiva e importante para o ganho de peso animal.

Nesse sentido, inerentes a proporção de LF e CB, o valor nutritivo dos componentes morfológicos, expresso pela composição bromatológica e digestibilidade *in vitro* da matéria seca, é apresentado na Tabela 4.

Para proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN), independente do método de pastejo ou estação do ano, não houve efeito significativo. Os teores de Fibra em Detergente Ácido (FDA), Lignina em Detergente Ácido (LDA) e Digestibilidade *in vitro* da Matéria Seca (DIVMS) foram influenciados pela interação método de pastejo x estação do ano ($p < 0,05$), Tabela 4. Os teores de FDA foi superior ($p < 0,05$) apenas para o CB de pasto em lotação rotativa no verão (52,17 vs. 44,75%). A LDA de pasto em lotação rotativa foi maior que aquela de pasto em lotação contínua para LF no outono (4,09 vs. 3,36%) e para CB no verão (6,26 vs. 3,25%) e outono (5,39 vs. 4,15%).

Embora haja forte relação direta entre teores de LDA e DIVMS, observa-se pelas médias da Tabela 5 que essa relação não se confirma. Para LF, a DIVMS foi superior no verão e outono em pasto sob lotação rotativa, tendo comportamento inverso no inverno e primavera. Para a estação outono em que a LDA foi superior no pasto sob lotação rotativa, a digestibilidade foi diretamente relacionada. Observa-se variação nos dados de DIVMS, ora sendo diretamente ora indiretamente proporcional à variação da LDA.

Os teores de FDA, tanto na LF como no CB decresceram do verão para a primavera, sendo mais marcante as diferenças nos pastos com lotação rotativa. Esse comportamento influenciou a variação na DIVMS de maneira direta na LF (75,05 a 70,06%) e inversa no CB (55,84 a 65,89%) para os pastos com lotação rotativa. Embora os teores de FDA e LDA da LF decresceram do verão à primavera nos pastos com lotação contínua, a DIVMS permaneceu inalterada ($p > 0,05$), o que não se observou para FDA e LDA de CB.

A FDA, composta por celulose e lignina, é parte integrante da fração FDN (composto por celulose, hemicelulose e lignina) e, a lignina (SIMILI, 2012), por sua vez, é considerada a fração indigestível da fibra e que tem caráter de tecido de sustentação da planta. Assim, espera-se que quanto maior o teor de fibra da planta, maior será a influência na digestibilidade da matéria seca.

Tabela 5. Valor nutritivo de lâmina foliar e colmo + bainha de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, sob dois métodos de pastejo

Método de Pastejo	Estação do ano				Média
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	
-----% PB LF-----					
LROT	10,58 Aa	12,38 Aa	10,91 Aa	11,29 Aa	11,29
LCONT	7,71 Aa	8,32 Aa	8,46 Aa	8,59 Aa	5,36
-----% FDN LF-----					
LROT	69,88 Aa	69,18 Aa	72,15 Aa	70,92 Aa	70,53
LCONT	62,30 Aa	73,52 Aa	73,06 Aa	72,50 Aa	81,37
-----% FDA LF-----					
LROT	36,52 Aa	35,19 Aab	33,86 Ab	31,92 Ac	37,37
LCONT	36,21 Aa	35,63 Aa	34,65 Aab	32,69 Ab	34,79
-----% LDA LF -----					
LROT	3,55 Ab	4,09 Aa	3,60 Ab	3,06 Ac	3,57
LCONT	3,19 Aa	3,36 Ba	3,27 Aa	2,92 Aa	3,18
-----% DIVMS LF-----					
LROT	75,05 Aa	73,28 Aa	70,05 Bb	70,06 Bb	64,61
LCONT	70,43 Ba	70,88 Ba	71,89 Aa	72,06 Aa	71,31
-----% PB CB-----					
LROT	4,15 Aa	5,45 Aa	5,77 Aa	6,06 Aa	8,27
LCONT	3,49 Aa	3,72 Aa	4,07 Aa	4,68 Aa	3,99
-----% FDN LF-----					
LROT	82,70 Aa	80,64 Aa	81,38 Aa	80,75 Aa	70,34
LCONT	71,62 Aa	88,27 Aa	82,12 Aa	79,93 Aa	79,24
-----% FDA CB -----					
LROT	52,17 Aa	48,50 Ab	43,09 Ac	41,37 Ac	46,28
LCONT	44,75 Bab	46,66 Aa	43,95 Aab	40,75 Ab	44,02
-----% LDA CB-----					
LROT	6,26 Aa	5,39 Aa	3,24 Ab	2,80 Ab	4,42
LCONT	3,25 Ba	4,15 Ba	3,36 Aa	3,27 Aa	3,5
-----% DIVMS CB-----					
LROT	55,84 Bb	59,45 Ab	63,90 Aa	65,89 Aa	61.27
LCONT	61,73 Ab	60,92 Ab	63,30 Aab	68,20 Aa	63.53

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5%

A baixa digestibilidade da planta pode afetar o consumo da forragem pelo animal e o tempo de pastejo e, também, a emissão de metano (CH₄) pelo animal. A emissão de metano depende da quantidade e da qualidade de alimento ingerido, sendo que, geralmente, alimentos com alta digestibilidade resultam em maior consumo, com menor emissão de metano por

unidade de alimento ingerido, do que dietas de pior valor nutritivo (PEDREIRA et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2007). Porém, de acordo com Lassey et al. (1997), a emissão do CH₄ pode ser, também, dependente do animal, e que cerca de 87% da variação na emissão de CH₄ são atribuídas às diferenças entre os animais e somente 13% devido às diferenças na ingestão de matéria seca (MS).

6.2. Emissão de metano entérico

Inicialmente, a oferta de forragem (%OF) para métodos de pastejo LROT e LCONT, foi preconizada em 16%, para que ambos métodos mantivessem uma boa estrutura da pastagem durante o inverno. Entretanto, com a deficiência hídrica ocorrida durante o período experimental, não foi possível manter a mesma oferta, mesmo mantendo o mínimo de animais necessários nas unidades experimentais (três testes) a partir do mês de abril (Figura 21).

Como consequência desta restrição hídrica, a taxa de lotação animal foi baixa, com médias para o LROT de 8,17; 3,22; 1,91; 1,91, e para LCONT 1,49; 1,05; 0,75; 0,75, para verão, outono, inverno e primavera, respectivamente.

Figura 21: Oferta de forragem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em função das estações do ano

LROT = lotação rotativa; LCONT = lotação contínua

Para a emissão do CH₄, Peso Vivo animal (PV), Ganho em Peso Médio Diário (GMD) e Digestibilidade *in vitro* da Matéria Seca (DIVMS) houve diferença apenas em relação à

estação do ano (Tabela 6). Durante a estação do verão, um transformador de luz, localizado próximo a área do curral, por onde todos os animais eram manejados, independente do método de pastejo, apresentou problema. Estes tipos de equipamentos liberam SF₆, o que pode ter interferido nas emissões da estação do verão.

Tabela 6. Emissão de metano por novilhas da raça Nelore em pastagem de capim-marandu, durante as estações do ano, no Estado de São Paulo.

Método de pastejo	Estação do ano			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
	-----CH ₄ (g/an/d)-----			
LROT	78,14 Ab	183,14 Aa	187,82 Aa	207,15 Aa
LCONT	93,28 Ab	199,92 Aa	168,70 Aa	210,66 Aa
	-----PV (kg)-----			
LROT	286,77 Ac	328,61 Ab	394,50 Aa	402,22 Aa
LCONT	296,50 Ad	345,11 Ac	379,94 Ab	405,78 Aa
	-----GMD (kg/d)-----			
LROT	0,37 Bb	0,81 Aa	0,47 Ab	0,47 Ab
LCONT	0,63 Aa	0,77 Aa	0,18 Bb	0,57 Aa
	-----DIVMS (%)-----			
ROT	68,09 Aa	66,87 Aa	59,78 Ab	56,11 Ab
CONT	66,99 Aa	63,94 Aa	56,51 Ab	58,10 Ab

LROT = lotação rotativa; LCONT = lotação contínua; PV = Peso vivo animal (kg); GMD = ganho médio diário do animal (kg/dia); CH₄ = emissão de metano (g/dia); DIVMS = digestibilidade in vitro da matéria seca da forragem,

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5%,

Para o Consumo de Matéria Seca de Forragem (CMSF kg/dia) não houve diferença para estação e nem para o método de pastejo empregado, com médias de 4,01 kd/dia para LROT e 5,88 kg/dia para LCONT.

A composição do alimento ingerido interfere na emissão de CH₄ pelos animais. As gramíneas tropicais apresentam mais fibra que gramíneas de clima temperado, favorecendo a fermentação acética e assim, maior produção de CH₄ pelo rúmen (BERCHIELLI, 2012). O valor de emissão de CH₄ entérico em g/dia para kg/ano, para os dois métodos de pastejo (lotação rotativa e contínua), foi de 62,05 kg/ano, valores pouco superior aos retratados por Berdnt (2010), em que estima que os valores de emissão brasileira, são de 56 kg/ano. Esta variação de 10,8% a mais, provavelmente, se deve as condições de deficiência hídrica e, conseqüentemente, de nutrientes para a pastagem, pois os animais consumiram alimentos mais fibrosos, o que pode contribuir para um aumento da emissão de metano (Paulino, 2009).

O método de pastejo, neste caso, não interferiu nas emissões, no desempenho animal e no seu consumo de forragem. Estes fatos reforçam que quando a disponibilidade de água é severa para ambos métodos de pastejo, não há diferença na emissão de CH₄ entre eles. Contudo, quando calcula-se o ganho de peso animal por área dividido pela taxa de lotação, percebe-se que o método de pastejo rotativo se mostra mais eficiente (Tabela 7).

Tabela 7: Eficiência animal: emissão de metano (kg) pelo ganho de peso.

Estação	PV (kg)	Tx. Lot	GPAMd (kg/ha)	gCH ₄ /dia	GPA/Tx. Lot	kgCH ₄ /Tx. Lot	kgCH ₄ /GPAMd
Rotativo							
Verão	283.74	8.17	7.52	85.71	61.46	22.35	0.36
Outono	323.34	3.22	13.32	191.53	42.88	20.64	0.48
Inverno	369.56	1.91	6.72	178.26	12.85	12.56	0.98
Prim.	383.14	1.91	7.68	208.91	14.67	13.85	0.94
Média	339.94	3.8	8.81	166.1	32.97	17.35	0.69
Contínuo							
Verão	296.42	1.49	5.19	93.28	7.73	4.86	0.63
Outono	346.96	1.05	4.84	199.92	5.07	7.33	1.45
Inverno	378.33	0.75	1.83	168.7	1.37	4.44	3.23
Prim.	396.33	0.75	4.58	210.66	3.45	5.55	1.61
Média	354.51	1.01	4.11	168.14	4.4	5.54	1.73

PV (kg) = média de peso vivo dos animais durante a estação; Tx. Lot. = média da taxa de totação na unidade experimental na estação; GPAMd (kg/ha) = ganho de peso por área médio diário dentro da estação; gCH₄/dia = média de gramas de metano emitido diariamente pelo animal na estação; GPA/Tx. Lot = ganho de peso por área dividido pela taxa de lotação; kgCH₄/Tx. Lot = kg de metano emitido pelo animal dividido pela taxa de lotação da área; kgCH₄/GPAMd = kg de metano emitido dividido pelo ganho de peso por área médio diário.

Ao final do período experimental, os animais de ambos métodos de pastejo, obtiveram peso final semelhantes, entretanto, a taxa de lotação do LROT foi de, aproximadamente, quatro vezes maior que a taxa de lotação do LCONT, uma diferença de 276%. Com taxa de lotação maior, o ganho de peso por área do LROT foi o dobro do ganho de peso do LCONT. Em consequência desta maior taxa de lotação, a emissão de kg de CH₄ por animal foi maior no LROT e menor no LCONT. Porém, quando analisamos a emissão de kg de CH₄ pelo ganho de peso animal por área, o método de pastejo mais intensivo (LROT) se mostra muito mais eficiente que o método de pastejo contínuo (LCONT), sendo 150 vezes maior que o LROT.

Esta análise demonstra que o método de pastejo mais intensivo é mais eficiente em relação a emissão de CH₄, ou seja, emite menos CH₄ por quilo de carne produzido na área.

6.3. Densidade aparente do solo

Na caracterização física do solo, as médias de sua densidade aparente inicial, considerando os tratamentos lotação contínua e rotativa e vegetação natural, apresentaram-se semelhantes ($p>0,05$) apenas nas profundidades 0 a 5 e 5 a 10 cm (Figura 22). Nas demais profundidades, a densidade aparente foi superior na área de vegetação natural entre as profundidades 20 a 80 cm ($p<0,05$) e apenas em relação à lotação contínua às profundidades 10 a 20 e 80 a 100 cm.

Figura 22. Densidade aparente do solo (g/cm^3) inicial, nos perfis amostrados, para os métodos de lotação rotativa e contínua e em área de vegetação nativa.

Nas camadas superficiais, de 0 a 10 cm de profundidade, pode-se encontrar a maior concentração de matéria orgânica do solo e, em áreas de pastagem, é onde há, também, a maior concentração de raízes das plantas, cerca de 90%, o que justifica não haver diferença entre a densidade aparente do solo das áreas de pastagem e da vegetação natural.

Abaixo dos 10 cm de profundidade, a vegetação natural mantém-se mais estável, porém com valores de densidade aparente mais altos em relação à superfície. Para as áreas de pastejo, há manutenção e queda da densidade aparente do solo, considerando a lotação rotativa e contínua respectivamente. Esse comportamento nas áreas de pastejo ocorre devido à sua

dinâmica de renovação de plantas, o que não se observa em áreas de vegetação natural, constantemente,

Ao final dos ciclos de pastejo ocorridos ao longo da fase experimental, observa-se que a densidade aparente do solo manteve-se na amplitude de 1,25 a 1,50 g/cm³ (Figura 23), havendo diferença significativa apenas entre 0 a 5 e 5 a 10 e 10 a 20 cm na lotação contínua. É possível observar que a densidade aparente do solo, nos pastos utilizados com os dois métodos de pastejo, apresenta-se baixa na camada mais superficial (0 a 5 cm), crescendo até a camada de 20 cm e decrescendo posteriormente para se manter estável.

Figura 23. Densidade aparente do solo (g/cm³) final, em área cultivada com pastagem, sob dois métodos de pastejo (rotativo e contínuo), nas diferentes profundidades.

Para área de solos argilosos, o valor de densidade é de 0,9 a 1,7 g cm⁻³, quanto menos argila há na área, maior será a densidade. Dentro da área experimental, teor de argila variou entre as áreas de vegetação natural e pastagens. Na área de vegetação natural o teor de argila é de 20 a 30%, na área de lotação rotativa de 40 a 50%. Os valores normais para solos argilosos apresentam valores de 0,9 a 1,7 g cm⁻³.

50% e, na área de lotação contínua de 40 a 60%. Isso se reflete na densidade do solo, pois solos em que há menor quantidade de argila, são solos mais densos, em que no nosso caso, é o solo em que se encontra a vegetação natural.

Na Figura 24 podem-se observar as médias de densidade aparente do solo determinadas nas fases pré e pós-experimento, sejam nas áreas de pasto ou de vegetação natural, Durante a caracterização, no pré-experimento. Na lotação rotativa, apenas amostras retiradas à profundidade de 0-5 cm tiveram a densidade aparente do solo aumentada após os ciclos de pastejo, tendo pequeno acréscimo entre 10 e 40 cm e mantendo-se equilibrada nas demais profundidades. Para a lotação contínua, constatou-se queda nos valores médios nos primeiros 10 cm e aumento nos demais perfis do solo na comparação do pré e pós-experimento, Para as condições de vegetação natural é bem evidente o aumento na densidade aparente até 40 cm, vindo a diminuir lentamente até os 100 cm (Figura 24).

O sistema radicular das gramíneas forrageiras apresenta-se concentrado nos primeiros 10 cm do perfil do solo. Condições de manejo que favorece a rápida recuperação da parte aérea permitem rápida retomada da fotossíntese, elaboração de substâncias orgânicas e translocação à parte subterrânea para sustentar o crescimento das raízes e rizomas, favorecendo desta forma a descompactação do solo. Por isso que, em áreas de pasto, independente do método de pastejo, desde que respeitada a capacidade de recuperação das plantas forrageiras, ocorre maior flutuação nos valores de densidade aparente do solo, principalmente nos argilosos.

O uso da área para o pastejo possibilita a renovação de plantas e raízes, principalmente nas camadas mais superficiais, entretanto, o pisoteio animal e até mesmo o uso de máquinas agrícolas pode resultar em maior compactação do solo (Streck *et al*, 2004), Contudo, para Cassol (2003), as mudanças geradas nas camadas superficiais do solo, pode ser temporário e reversível.

Atualmente, em torno de 80% das áreas de pastagens do Brasil estão em algum estágio de degradação e segundo Müller *et al*. (2001), em áreas degradadas, onde não há adição de corretivos e fertilizantes no solo, a quantidade de massa de forragem pode diminuir, e consequentemente, diminuirá, também, a quantidade de raízes na superfície e perfil do solo, o que tornará a planta mais susceptível a déficits hídricos e capacidade de absorção de nutrientes nas camadas mais profundadas do solo, Entretanto, se durante o manejo dos pastos houver respeito pelo binômio planta – animal, ou seja, massa de forragem disponível e taxa de lotação adequada, a densidade do solo pode diminuir nas camadas mais superficiais e facilitar a absorção de nutrientes para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Figura 24. Comparação da densidade aparente do solo (g/cm^3) em diferentes profundidades, de coletas iniciais e finais em áreas cultivadas com *Brachiaria brizantha* cv, Marandu, sob pastejo rotativo e contínuo e, em área de vegetação natural.

O solo, juntamente com a umidade, é de onde as raízes tem a capacidade de retirar e absorver nutrientes essenciais para planta e, caso não exista a quantidade de matéria orgânica e minerais adequadas para a cultura, é necessário fazer a adubação, onde há os nutrientes necessários para a absorção da planta (FAQUIN, 2005). Em áreas de pastagem, a correção e adubação são feitas nas camadas superficiais do solo, perfil onde está a maior concentração do sistema radicular destas plantas, o que facilita o contato com o nutriente e sendo absorvido pela planta, porém, em restrição de umidade no solo, a absorção e transporte pelo nutriente pela planta, não é eficiente como esperado.

6.4. Teores de Carbono e Nitrogênio

Nas avaliações pré-experimental, os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo foram decrescentes em profundidade e de comportamento muito semelhante entre os dois métodos de pastejo e a vegetação natural (Figuras 19 e 20).

Nas duas áreas cultivadas com pastagem e naquela com vegetação natural, os maiores teores iniciais de C foram observados na camada superficial de 0 a 5 cm, variando de 24,60 g/kg (lotação contínua), 23,98 g/kg (lotação rotativa) e 31,27 g/kg (vegetação natural).

Considerando as variações no desvio padrão, constata-se que os teores de C no solo da pastagem com lotação rotativa foram os mais baixos e os da pastagem com lotação contínua os mais altos. Embora as médias sejam muito próximas, a variabilidade dos dados que compuseram as médias de C em pastagem com lotação contínua permitiu detectar diferenças apenas entre amostras retiradas da profundidade 0 a 5 cm em relação aquelas dos demais perfis, que foram semelhantes entre si (Figura 25).

Os teores de C na vegetação natural mantiveram-se ligeiramente superiores aos da pastagem com lotação rotativa até a profundidade 20 cm, enquanto em relação à lotação contínua até 80 cm. Embora as áreas exploradas com pasto possam ter maior contribuição de C na camada arável de 20 cm, a vegetação natural apresenta-se superior devido ao acúmulo de material morto reciclado, principalmente, da parte aérea. Em áreas de vegetação natural, há uma ciclagem de nutrientes constante, em que a planta capta o carbono atmosférico (CO_2) para o processo fotossintético e, depois, quando esta planta senesce, seu resíduo se transforma em matéria orgânica e o carbono é disponibilizado ao solo por meio da decomposição.

Além da avaliação pura dos teores de C, é imprescindível estudar a forma que se apresenta esse carbono vindo do pasto e da vegetação natural. Considerando a menor variação nos teores de C em profundidade, nos diferentes usos da terra, a dúvida que fica é se esse C tem origem da ciclagem do pasto ou da vegetação natural retirada para a implantação dos pastos.

Os teores de N no solo teve menor variação entre os métodos de pastejo até a profundidade de 40 cm, apresentando-se com ligeira superioridade a partir de 40 cm nas amostras retiradas de pasto com lotação contínua, embora com maior variabilidade dos dados. Nas condições de vegetação natural, os teores de N foram superiores em todos os perfis, principalmente até os 40 cm (Figura 26).

Figura 25. Comparação dos teores iniciais de carbono no solo (g/kg) de áreas sob o cultivo de pastagem, com métodos de pastejo diferentes, e área de vegetação natural, até um metro de profundidade

Figura 26. Comparação dos teores iniciais de nitrogênio no solo (g/kg) de áreas sob o cultivo de pastagem, com métodos de pastejo diferentes, e área de vegetação natural, até um metro de profundidade

Após o período de uso da terra, os teores de C e N praticamente não se alteraram comparados à fase pré-experimental para as amostras retiradas nas duas áreas de pasto em todos os perfis avaliados. Para os teores de carbono, houve diferença significativa ($p < 0,05$) para as camadas de 10 a 20, 20 a 40 e 80 a 100 cm, e para os teores de nitrogênio, houve diferença significativa apenas para 10 a 20 e 20 a 40 cm (Figura 27). Entretanto, para o N, percebe-se que nas camadas superiores, houve um acréscimo nos teores, onde há principalmente o acúmulo de matéria orgânica (Figura 28). Contudo, os teores mais elevados persistiram nas camadas superiores, semelhante à avaliação inicial.

Figura 27. Teores finais de carbono no solo (g/kg) em áreas de pastagens cultivadas e submetidas a dois métodos de pastejo.

□ 0 a 5 cm ■ 5 a 10 cm ▨ 10 a 20 cm ▩ 20 a 40 cm ▤ 40 a 60 cm ▥ 60 a 80 cm ▦ 80 a 100 cm

Figura 28. Teores finais de nitrogênio no solo (g/kg) em áreas de pastagens cultivadas e submetidas a dois métodos de pastejo.

Outros fatores que podem influenciar nas alterações de C e N no solo, é a textura do solo e a característica e quantidade de resíduos orgânicos depositados no solo vegetais (Maia et al., 2009). Geralmente, as mudanças nos teores de C no solo geram mudanças, também, nos teores de N, pois ambos dependem do manejo da pastagem e em sua ciclagem (Conant et al., 2005).

6.5. Estoques de Carbono e Nitrogênio

Para os estoques de carbono, na condição pré-experimental (Mg ha^{-1}), houve diferença ($p < 0,05$) entre as áreas cultivadas com capim-marandu e manejadas em lotação rotativa e contínua e a vegetação natural (Tabela 8). Foram constatadas maiores médias para lotação contínua ($22,83 \text{ g/kg}$) e menores para lotação rotativa ($19,17 \text{ g/kg}$), sendo semelhantes aos teores encontrados na vegetação natural ($21,37 \text{ g/kg}$) de amostras retiradas no perfil 5 a 10 cm. Para a profundidade 20 a 40 cm, a vegetação natural apresentou maior média ($61,10 \text{ g/kg}$) comparada àquela da lotação rotativa ($49,22 \text{ g/kg}$), porém semelhantes aos teores encontrados na lotação contínua ($53,77 \text{ g/kg}$).

Quanto aos estoques de N na condição pré-experimental (Mg ha^{-1}), houve diferença ($p < 0,05$) entre as áreas cultivadas com capim-marandu e manejadas em lotação rotativa e contínua e a vegetação natural (Tabela 8) em todos os perfis avaliados. No geral, os maiores estoques de N foram encontrados na condição de vegetação natural e superiores às demais condições de manejo apenas nos perfis de 10 a 40 cm ($p < 0,05$).

Com relação às variações dos estoques de C e N em cada condição de manejo, observa-se comportamento semelhante. Há grande estoque no perfil 0 a 5 cm, com queda no perfil seguinte (5 a 10 cm), subindo até o perfil 20 a 40 cm, onde atinge seu maior valor e depois cai.

Na condição pós-experimental das áreas de pastejo em lotação rotativa e contínua, os maiores estoques de C e N ($p < 0,05$) foram observadas nas profundidades 10 a 20 cm nos pastos em lotação contínua e 20 a 40 e 80 a 100 cm nos pastos em lotação rotativa. Nas demais profundidades os estoques de C e N foram semelhantes ($p > 0,05$), Tabela 9. Embora com valores superiores, a distribuição dos estoques teve um comportamento semelhante das avaliações pré-experimental, com ligeiro aumento até 20 a 40 cm e queda até 100 cm.

Mesmo com o uso recorrente da pastagem e sem precipitação adequada para o período, os estoques no pós-experimento aumentaram em relação à avaliação pré-experimental. Nos pastos submetidos à lotação rotativa, houve aumento de 32% (19,64 vs. 26,1 g/kg) para C e 25% (1,34 vs. 1,68 g/kg) para o estoque de N e, para os pastos sob lotação contínua, o aumento foi da ordem de 29% (17,8 vs. 23,1 g/kg) e 18% (1,32 vs. 1,57 g/kg) para os estoques de C e N, respectivamente.

Tabela 8. Estoques iniciais de carbono (C) e nitrogênio (N) em Mg ha^{-1} , em áreas de pastagens cultivadas de capim-marandu e vegetação natural

Profundidade (cm)	Lotação Rotativa	IC	Lotação Contínua	IC	Vegetação Natural	IC
Estoque de C (Mg ha^{-1})						
0 a 5	16.76 a	$\pm 0,77$	16.85 a	$\pm 1,21$	19.52 a	$\pm 1,75$
5 a 10	11.40 b	$\pm 0,43$	11.14 b	$\pm 0,99$	13.00 a	$\pm 0,70$
10 a 20	18.19 b	$\pm 0,43$	16.46 b	$\pm 1,01$	22.45 a	$\pm 1,10$
20 a 40	28.23 ab	$\pm 0,50$	26.18 b	$\pm 1,7$	37.15 a	$\pm 0,79$
40 a 60	23.49 a	$\pm 0,55$	20.81 a	$\pm 2,04$	30.61 a	$\pm 0,63$
60 a 80	20.66 a	$\pm 0,69$	16.97 a	$\pm 2,64$	25.48 a	$\pm 0,19$
80 a 100	18.72 a	$\pm 0,79$	16.22 a	$\pm 3,19$	22.51 a	$\pm 0,38$
Estoque de N (Mg ha^{-1})						
0 a 5	0.89 b	$\pm 0,77$	0.90 b	$\pm 1,21$	1.06 a	$\pm 1,75$
5 a 10	0.69 b	$\pm 0,43$	0.78 a	$\pm 0,99$	1.06 a	$\pm 0,70$
10 a 20	1.18 b	$\pm 0,43$	1.21 b	$\pm 1,01$	1.54 a	$\pm 1,10$
20 a 40	1.96 b	$\pm 0,50$	2.06 b	$\pm 1,7$	2.73 a	$\pm 0,79$
40 a 60	1.68 b	$\pm 0,55$	1.64 b	$\pm 2,04$	2.32 a	$\pm 0,63$
60 a 80	1.53 ab	$\pm 0,69$	1.35 b	$\pm 2,64$	2.04 a	$\pm 0,19$
80 a 100	1.43 ab	$\pm 0,79$	1.32 b	$\pm 3,19$	1.86 a	$\pm 0,38$

IC=intervalo de confiança das variáveis, Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5%

Solos que possuam textura argilosa têm a tendência de armazenar maior concentração de C (PINHEIRO et al., 2010) e também de N, afirmações que corroboram com o cenário final encontrado. Com a deposição de material morto das plantas e dejetos dos animais, os estoques aumentaram, provavelmente devido a menor extração de C e N na ciclagem no solo, deixando-o com maiores concentrações ao final da fase experimental.

Tabela 9. Estoques finais de carbono (C) e nitrogênio (N) em Mg ha^{-1} , em áreas de pastagens cultivadas de capim-marandu e vegetação natural

Profundidade (cm)	Lotação Rotativa	IC	Lotação Contínua	IC
Estoque de C (Mg ha^{-1})				
0 a 5	15,08 a	$\pm 3,42$	13,85 a	$\pm 2,48$
5 a 10	11,91 a	$\pm 1,44$	10,97 a	$\pm 1,53$
10 a 20	20,20 b	$\pm 0,55$	28,32 a	$\pm 2,94$
20 a 40	52,37 a	$\pm 7,49$	34,17 b	$\pm 4,97$
40 a 60	29,41a	$\pm 2,52$	27,42 a	$\pm 5,96$
60 a 80	28,46 a	$\pm 3,75$	26,18 a	$\pm 5,18$
80 a 100	25,31 a	$\pm 1,40$	20,91 b	$\pm 2,38$

Estoque de N (Mg ha ⁻¹)				
0 a 5	1,05 a	± 0,34	0,97 a	± 0,18
5 a 10	0,79 a	± 0,12	0,78 a	± 0,14
10 a 20	1,33 b	± 0,19	2,15 a	± 0,90
20 a 40	3,64 a	± 0,92	2,43 b	± 0,38
40 a 60	1,79 a	± 0,12	1,81 a	± 0,49
60 a 80	1,74 a	± 0,16	1,68 a	± 0,50
80 a 100	1,41 a	± 0,09	1,18 b	± 0,26

IC = intervalo de confiança das variáveis, Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5%

Para atingir melhores potenciais de produção, a planta depende da concentração de N no solo, que depende da concentração de C. A redução do N e demais nutrientes, reduz a densidade de perfilhos no dossel, que se associa a redução na captação de CO₂ pelas plantas (NASCIMENTO JUNIOR & ADESE, 2004). Mesmo com a deficiência hídrica, a adubação nitrogenada possibilitou o o incremento do N no solo, fazendo com que a planta forrageira tivesse uma resposta positiva ao seu crescimento.

Nas Figuras 28 e 29, observam-se os estoques de C e N, respectivamente, no perfil do solo de 0 a 100 cm. Na fase pré-experimental, os estoques de C foram de 137,45 e 124,63 Mg/ha e os de N de 9,36 e 9,26Mg/ha nos pastos em lotação rotativa e contínua, respectivamente. Já na fase pós-experimental, os estoques de C encontrados foram de 182,74 e 161,82 Mg/ha e os de N de 11,75 e 11,00 Mg/ha, respectivamente para os pastos em lotação rotativa e contínua, Os estoques de C e N na vegetação natural era da ordem de 170,72 e 12,61 Mg/ha.

Figura 29. Estoque de Carbono (Mg/ha-1), de 0 a 100 cm de profundidade, em áreas cultivadas com *Brachiaria brizantha* cv, Marandu, em dois métodos de pastejo e, área de vegetação natural, Inicial=dezembro/2012; Final=outubro/2015

Figura 30. Estoque de Nitrogênio (Mg/ha-1), de 0 a 100 cm de profundidade, em áreas cultivadas com *Brachiaria brizantha* cv, Marandu, em dois métodos de pastejo e, área de vegetação natural, Inicial=dezembro/2012; Final=outubro/2015

O balanço se torna positivo quando há mais nutrientes entrando que saindo. Em áreas de pastagens, as vias de entrada principais de C e N no sistema são o depósito de material vegetal, o uso de fertilizantes (PAUSTIAN et al., 1997), e dejetos dos animais, enquanto que, as principais vias de saída são a degradação do solo e a emissão em formas gasosas, devido a degradação da matéria orgânica (DAVIDSON & JANSSENS, 2006). Neste sentido, verifica-se que, em situações de escassez de precipitação e o constante uso do pasto, mesmo que

adubado, podem aumentar os estoques de carbono e nitrogênio no solo, pois ainda assim, há uma ciclagem de nutrientes no solo, aumentando a quantidade de matéria orgânica, que as plantas utilizarão para recompor sua parte aérea.

6.6. Emissões de gases de efeito estufa

Nas figuras, que contemplam as emissões de CH₄, CO₂ e N₂O no solo, deve-se considerar as datas de 11/01 a 20/03 como verão, 21/03 a 20/06 como outono, 21/06 a 21/09 como inverno e 22/09 a 07/11 como primavera,

Os fluxos de CH₄ não tiveram grandes variações devido à sazonalidade do clima, mas foram influenciados pelo sistema de manejo adotado. A emissão de CH₄ foi superior na área de pasto com lotação rotativa com adubação (LRCA), intermediária para a de lotação contínua (LCONT) e menor para a de lotação rotativa sem adubação (LRSA). As médias para LRCA foram de 1,27; 1,66; 1,39 e 3,52 mg C-CH₄ m⁻²d⁻¹ para o verão, outono, inverno e primavera, respectivamente. Para LCONT, as médias nas estações foram de 0,48; 0,83; 0,82 e 1,32 mg C-CH₄ m⁻²d⁻¹, enquanto que para LRSA, os valores foram de 0,99; 0,71; 0,36 e 0,51 mg C-CH₄ m⁻²d⁻¹ respectivamente, no verão, outono, inverno e primavera (Figura 30).

Os valores referentes à primavera, para os três métodos de pastejo, podem ter sido influenciados pela grande emissão de CO₂ ocorrida no dia 30/08/2014, devido ao incêndio ocorrido na área experimental. Além de todo abalo físico ocorrido no solo pela grande movimentação dos animais na área e tratores utilizados para combater o incêndio. Como o CH₄ é um gás muito volátil, toda esta interferência, pode ter mudado a porosidade no solo no momento, fazendo com que houvesse maiores valores para a estação.

Figura 31. Emissão de CH₄ (mg C-CH₄ m⁻² d⁻¹) por câmara, em pastos cultivados com *Brachiaria brizantha* cv, Marandu e sob lotação contínua (LCONT), rotativa adubado (LRCA) e rotativa sem adubação (LRSA)

Os valores anuais nas áreas de avaliação foram de 28,63; 9,35 e 12,62 kg C-CH₄ ha⁻¹ ano⁻¹, para LRCA, LRSA e LCONT, respectivamente. Para estas emissões anuais de CH₄ em carbono equivalente (C eq), de acordo com o IPCC (2007), os cálculos para os valores anuais de emissão de CH₄ foram de 715,76; 233, 81 e 315,63 kg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹.

De acordo com Wuebbler & Hayhoe (2002), o fluxo de CH₄ no solo é dependente de processos que ocorrem em situações de anaerobiose ou aerobiose no ciclo do C, porém, para a emissão deste gás, não é necessário que todo o solo esteja nessas condições, mas pequenos espaços livres entre os agregados (GLATZEL & STAHR, 2001). Assim, faz sentido os estoques de C terem diminuído nos pastos sob lotação rotativa e contínua, pois o C foi utilizado na formação de CH₄, e também CO₂, e emitido à atmosfera,

A oxidação do CH₄ ocorre por meio da ação de bactérias metanogênicas, capazes de utilizar o metano como fonte de C e energia, especialmente, quando se está próximo à superfície, em que há um maior aporte de oxigênio (McDONALD et al., 2008). E, é na superfície do solo em que observou-se sua menor densidade aparente (0 a 10 cm), pois a quantidade de raízes nesta camada é maior, fazendo com que ocorra maior aeração do solo, o que pode ter emitido mais CH₄,

Segundo Omonde et al. (2007), há uma relação entre a oxidação do CH₄ com o carbono orgânico e a aeração do solo nas camadas mais próximas a superfície, o que vai de encontro aos resultados em que observou-se a diminuição do C nas camadas superficiais após o uso do solo, nas áreas de pastejo,

Além destes fatores, ainda pode existir uma relação entre a disponibilidade de nitrogênio (N) no sistema com o fluxo de CH₄ entre o solo e a atmosfera (SIQUEIRA NETO, 2011). Este fator ainda não é totalmente entendido, porém de acordo com Mosier et al. (2004), isto pode ocorrer devido a ação causada por inibição induzida do N na atividade dos microrganismos que oxidam o metano, o que poderia explicar, também, a maior emissão de CH₄ na área de pastejo rotativo em que houve a adubação nitrogenada,

O fluxo de CO₂ no solo está ligado a decomposição do resíduo do material vegetal, oxidação da matéria orgânica e respiração de microrganismos e raízes. A emissão deste gás para a atmosfera seguiu o mesmo padrão que a emissão de CH₄, sendo influenciados pelo método de manejo adotado, porém com emissão um pouco maior no verão, decrescendo após (Figuras 31).

Nesta estação, ainda que baixa, foi quando correu a maior precipitação nas áreas (Figura 32). Em regiões onde há altos índices pluviométricos e temperaturas mais elevadas, a intensa atividade microbiana propicia rápida decomposição do material vegetal presente no solo (SILVA & MACHADO, 2000; MIELNICZUK et al., 2003). É nesta estação, também, que ocorre maior dinâmica de renovação da gramínea e maior taxa de lotação animal no pasto, causando perturbações físicas no solo e implicando no rompimento de macro agregados. Esta situação reduz a proteção física da matéria orgânica, expondo-a aos processos microbianos, favorecendo, portanto, aumentos nas taxas de emissão de CO₂ para a atmosfera (ZINN et al., 2005). Após a estação do verão, com menores temperaturas, precipitação e lotação animal, as emissões de CO₂ decresceram.

As emissões anuais foram de 67,18; 48,74 e 64,89 kg C-CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ para as áreas de LRCA, LRSA e LCONT, respectivamente (Tabela 16). Em pesquisa realizada por Bordonal (2014), com cana-de-açúcar, foram observados emissões anuais mais elevadas que os encontrados nesta pesquisa, com médias de 875, 17 kg C-CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹, demonstrando que, mesmo na época do verão, em que mais se observou a emissão de CO₂, os valores são bem inferiores quando comparado a outra cultura muito presente no país.

Figura 33. Temperatura (°C) máxima, mínima e média, precipitação acumulada (mm) e umidade externa (%) das áreas experimentais, no período de Janeiro a Outubro de 2014

Figura 32. Emissão de CO₂ (mg C-CO₂ m⁻² d⁻¹) em pastos cultivados com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e sob lotação contínua (LCONT), rotativa adubado (LRCA) e rotativa sem adubação (LRSA)

Em áreas de vegetação natural há um estoque de C mais estável, o que resulta em trocas gasosas também mais estáveis com a atmosfera. Já, nas áreas de cultivo, existe uma alteração das quantidades de entrada e saída do gás CO₂ no sistema solo-atmosfera, o que, portanto, terá influência nos estoques de carbono, podendo serem menores que nas áreas de vegetação natural. Segundo Costa (2006), a diminuição dos estoques de C no solo, resultantes da mudança do uso da terra, aumenta o efluxo de CO₂ para atmosfera e diminui o influxo de C no solo. Esta afirmação corrobora com os dados apresentados neste trabalho, em que, ao mesmo tempo que os estoques de carbono diminuiu, aumentou a emissão de CO₂ para a atmosfera.

As emissões de óxido nitroso (N₂O), no verão, foram mais elevadas que nas outras estações, porém, na emissão anual, as menores emissões foram observadas na área de pastejo em lotação rotativa adubada (LRCA), em comparação com as demais áreas (LRSA e LCONT), onde não houve a adubação nitrogenada (Figuras 33).

O fluxo de N₂O do solo para a atmosfera ocorre por meio do processo de desnitrificação do N-NO³⁻ e, juntamente ao processo de mineralização das formas orgânicas do N do solo (BOUWMAN, 1998). E, embora o uso de fertilizante nitrogenado proporcione incremento significativo nas taxas de emissão desse gás, um cenário contrário a este foi verificado neste trabalho. Em carbono equivalente, a emissão de N₂O para a atmosfera foi de 510,14; 561,46 e 761,28 kg C-CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 10) para LRCA, LRSA e LCONT, respectivamente.

Figura 34. Emissão de N_2O ($\text{mg N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{d}^{-1}$) em pastos cultivados com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e sob lotação contínua (LCONT), rotativa adubado (LRCA) e rotativa sem adubação (LRSA)

Tabela 10. Emissões anuais de gases de efeito estufa (CH₄, CO₂ e N₂O) em áreas cultivadas com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu

Gases de Efeito Estufa (GEE)	LRCA	LRSA	LCONT
	kg ha ⁻¹ dia ⁻¹		
CH ₄	0,0784	0,0256	0,0346
CO ₂	0,1841	0,1335	0,1778
N ₂ O	0,0047	0,0052	0,0070
	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹		
CH ₄	28,6306	9,3523	12,6252
CO ₂	67,1794	48,7438	64,8968
N ₂ O	1,7119	1,8841	2,5546
	kg CO ₂ eq ha ⁻¹ ano ⁻¹		
CH ₄ (25x)	715,76	233,81	315,63
CO ₂ (1x)	67,18	48,74	64,90
N ₂ O (298x)	510,14	561,46	761,28

Em áreas onde há a aplicação de N via fertilizantes minerais, a planta utiliza-se deste nutriente para seu crescimento e desenvolvimento. Na lotação rotativa há maior dinâmica deste processo, pois a desfolha da planta é realizada periodicamente, partindo de alta disponibilidade na entrada e baixa na saída dos animais que em pasto com lotação contínua e sem adubação. A planta utiliza-se do N, na forma de componentes inorgânicos nitrogenados do solo (nitrato ou amônia) para sua regeneração aérea, onde ocorrerá a fotossíntese. Contudo, mesmo que ocorra a adubação nitrogenada no sistema, a disponibilidade do N dependente dissolução, que por sua vez, depende de umidade no solo.

Neste sentido, sem a quantidade de água adequada para o sistema, mesmo que realizada a adubação nitrogenada na área LRCA, o mesmo não ficou disponível para a planta e, muito provavelmente, a planta utilizou-se das reservas de N já existentes no solo. Fato semelhante ocorreu na área LRSA, pois mesmo que ela não tenha sido adubada, há um aporte de N residual no solo, que a planta o utilizou para a reposição de sua parte aérea, que sofrera desfolha. Com a utilização do N residual para a recomposição foliar da planta, a disponibilidade de nitrogênio no solo para bactérias desnitrificantes foi menor e, consequentemente, pode ter havido diminuição no processo de desnitrificação, ocasionando, portanto, a redução da liberação de N na forma de N₂O para a atmosfera,

Em contrapartida, na área LCONT, onde não há outra forma de incremento de N no solo a não ser por meio de dejetos animais, a emissão de N foi maior. Isto ocorre neste método a

desfolha é mais leniente, assim a planta tem de usar o N, presente no solo, para recompor sua parte aérea, em menor quantidade. Dessa forma, os compostos nitrogenados, resultantes da decomposição da matéria orgânica presente no meio, acumulam-se, sendo assimilados pelas bactérias desnitrificantes, que provoca aumento da emissão de N_2O para a atmosfera.

Conclusão

Embora a emissão de metano nos métodos de pastejo tenha sido semelhante, houve maior eficiência em termos de kgCH_4 emitido por kg carne produzido no método de pastejo rotativo.

Os teores e estoques de carbono e nitrogênio no solo mantiveram-se superiores na área de vegetação natural frente aos pastos manejados em lotação contínua e rotativa, que se elevaram ao final do período experimental. A emissão de CO_2 e N_2O foram semelhantes entre os métodos de pastejo, com ou sem adubação, enquanto a emissão de CH_4 foi superior no método rotativo adubado.

Referência Bibliográfica

AGUIAR, D. A.; RUDORFF, B. F. T.; SILVA, W. F.; ADAMI, M.; MELLO, M. P. Remote sensing images in support of environmental protocol: monitoring the sugarcane harvest in São Paulo State, Brazil. **Remote Sensing, Flagstaff**, v. 3, p. 1-22, 2011.

ALLEN DE, KINGSTON G, RENNENBERG H, DALAL RC, SCHMIDT S. Effect of nitrogen fertilizer management and waterlogging on nitrous oxide emission from subtropical sugarcane soils. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 136, 209–21, 2010.

ALVES., B. J. R., URQUIAGA SEGUNDO e BODDEY, R. M. Perdas de N derivados das fezes bovinas depositadas na superfície do solo. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, **Anais...** Brasília: v.32. p. 125-126, 1995.

BATLLE-BAYER, L.; BATJES, N.H.; BINDRABAN, P.S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: a review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 137, p. 47-58, 2010.

BELEOSOFF, B.S. **Potencial de produção de gases totais e metano in vitro de pastagens de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia submetida a diferentes manejos de pastejo.** 2013. 145f. Tese (Doutorado em Ciências Animais) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

BERCHIELLI, T .T. MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C.; Produção de metano entérico em pastagens tropicais. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.13, n.4, p.954-968, 2012.

BERNT, A., SOLÓRZANO, L. A. R., SAKAMOTO, L. S., Pecuária de corte frente à emissão de gases de efeito estufa e estratégias diretas e indiretas para mitigar a emissão de metano., São Carlos, SP. **Anais...** - 4th Brazilian Ruminant Nutrition Conference, p. 3-19, 2013.

BERNDT, A. Impacto da pecuária de corte brasileira sobre os gases do efeito estufa. In: Simpósio de produção de gado de corte, 7., 2010, Viçosa. **Anais...** p. 123 - 148, 2010.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B. & CERRI, C.C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Sci. Soc.**, v. 66 p. 888 - 896, 2003.

BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; CARVALHO, M.D.C.S.; CERRI, C.C. CO₂ emissions from liming of agricultural soils in Brazil. **Global Biogeochemical Cycles**, v.17, p.1049, 2003.

BODEGOM, P.M. VAN & STAMS, A.J.M. Effects of alternative electron acceptors and temperature on methanogenesis in rice paddy soils. **Chemosphere**, v. 39, p. 167-182, 1999.

BORDONAL, R. O. **Balanço de gases de efeito estufa em áreas de cana-de-açúcar sob diferentes cenários de manejo, considerando-se mitigações.** 2012, 84f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, São Paulo, 2012.

BOUWMAN, A.F. Nitrogen oxides and tropical agriculture. **Nature**, v. 392, p. 866 - 867, 1998.

BRAGA, M. B.; ROCHA, S. C. S. Drying of Milk–Blackberry Pulp Mixture in Spouted Bed. **Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 91, p. 1786 – 1792, 2013.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**: Informações gerais e valores preliminares. Brasília, 2009.

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

CARMO, J. B.; NEILL, C.; GARCIA-MONTIEL, D. C.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. C.; STEUDLER, P. A.; ANDRADE, C. A.; PASSIANOTO, C. C.; FEIGL, B. J.; MELINNO, J. M.; Nitrogen dynamics during till end no-till pasture restoration sequences in Rondonia, Brazil. **Nutrient Cycling in agroecosystems**, v. 71, n.3, p. 213-225, 2005.

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; PICOLLO, M.C.; GODINHO, V.P. & CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil Tillage Res.**, v. 103, p. 342 - 349, 2009.

CARVALHO, J.L.N.; RAUCCI, G.S.; FRAZÃO, L.A.; CERRI, C.E.P.; BERNOUX, M.; CERRI, C.C. Crop-pasture rotation: A strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.183, p.167–175, 2014.

CASALI, A.O.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos *in situ*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.335-342, 2008.

CASSOL, L.C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 143P. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CERRI, C. C., CERRI, C. E. P. Agricultura e Aquecimento Global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32 (1), p. 40-44, 2007.

CERRI, C.C.; GALDOS, M.; MAIA, S.; BERNOUX, M.; FEIGL, B.; POWLSON, D., CERRI, C.E.P. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, v. 62, p. 23 - 28, 2011.

CONANT, R.T.; PAUSTIAN, K.; DEL GROSSO, S.J.; PARTON, W.J. Nitrogen pools and fluxes in grassland soils sequestering carbon. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.71, p.239-248, 2005.

COSTA, F. S. et al. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 693-700, 2006.

COTTLE, D. J. et al., Ruminant enteric methane mitigation: a review. **Animal Production Science**, v. 51, 491-514, 2011.

COTTLE, D.J.; NOLAN, J.V.; WIEDEMANN, S.G. Ruminant enteric methane mitigation : a review. **Animal Production Science**, v. 51, p. 491-514, 2011.

COTTON, W.R.; PIELKE, R.A. **Human impacts on weather and climate**. Cambridge: Cambridge University Press, p.288. 1995.

COUTINHO, R. P.; Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 2, p.195-203, 2010.

DAVIDSON, E. A.; JANSSENS, I. A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. **Nature**, v. 440, p. 165-173, 2006.

DAVIDSON, E. A.; TRUMBORE, S.E. Gas diffusivity and production of CO₂ in deep soils os the eastern Amazônia. **Tellus**, v. 47B, p. 550 - 565, 1995.

FAQUIM, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2005. 100f. Pós Graduação “Lato Sensu” (Especialização). Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2005.

FERREIRA, E., GIACOMINI, S. J.; JANTALIA, C. P.; AITA, C.; URQUIAGA, S. S.; ALVES, B. J. R. Emissão de óxido nitroso com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.11, p.1653-1661, nov. 2006.

GARRITY, G.M.; LILBURN, T.G.; COLE, J.R.; HARRISON, S.H.; EUZEBY, J. & TINDALL, B.J. The Archaea, Phyla Crenarchaeota and Euryarchaeota. In: GARRITY, G.M. et al., **Taxonomic Outline of the Bacteria and Archaea**. Release 7.7. East Lansing, Michigan State University Board of Trustees, 2007.p.6-31.

GLATZEL, S. & STAHR, K. Methane and nitrous oxide exchange in differently fertilized grassland in southern Germany. **Plant Soil**, v. 231, p. 21 - 35, 2001.

GOMES, V. M.; **Disponibilidade e valor nutritivo de braquiária vedada para uso na região semiárida de Minas Gerais**. 2003. 99p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

HERLING, V. R.;LUZ, P. H. de C.; OLIVEIRA, P. P. A.; MARCHESIN, W. A.; MACEDO, F. B.; ALVES, A. C. Manejo do pasto com vistas a maximizar a produção de ruminantes. In: REIS, R. A. et al., **Volumosos na produção de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2005, p. 126-157.

IPCC. 2007. **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, 2007.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Chapter 10: Emissions from livestock and Manure Management. p.10.1-10.84, 2006.

JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. Methane emissions from cattle. **Journal of Animal Science**, v.73, p.2483-2492, 1995.

LASCANO, C.E.; CÁRDENAS, E. Alternatives for methane emission mitigation in livestock systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p.175-182, 2010.

LASSEY, K.R, ULYATT, M.J, MARTIN, R.J, WALKER, C.F, SHELTON, I.D. Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. **Atmospheric Environment**, v. 31, p. 2905 - 2914, 1997.

LEMAIRE G., 2001. Ecophysiological of Grasslands : Dynamics aspects of forage plant population in grazed swards. In: XIX International Grassland Congress, São Pedro. **Anais...** p. 29 – 37, 2001.

LIMA, M.A. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.19, p. 451-472, 2002.

LOPES, K. S. M.; Sistemas de produção de bovinos e a emissão de metano. In: IX Fórum Ambiental da Alta Paulista. **Anais...** v. 9, n. 7, p.1425, 2013.

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

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da Mudança Climática Global. **Quim. Nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

McDONALD, I.R. et al. Molecular ecology techniques for the study of aerobic methanotrophs. **Applied and Environmental Microbiology** , v. 74, n. 5, p. 1305-15, 2008.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N. et al., **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3. p.209-248, 2003.

MOSIER, A.R.; 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**, v. 6, p. 11– 49, 2004.

MULLER, M.M.L.; GUIMARÃES, M.F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P.F.S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n.11, p.1409 - 1418, 2001.

MYERS, W. D.; LUDDEN, P. A.; NAYIGIHUGU, V. HESS, B. W.; Technical Note: A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. **Journal Animal Science**, v. 82, p.179 – 183, 2004.

NASCIMENTO JR., D.; ADESE, B. Acúmulo de biomassa na pastagem. In: simpósio sobre manejo estratégico da pastagem, 2., 2004, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.289-330.

NELSON, C.J.; MOSER, L.E. Plant factors affecting forage quality. In: FAHEY JUNIOR, G.C. (Ed). **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, p.115 - 154, 1994.

OLIVEIRA, P.P.A. Recuperação e reforma de pastagens, In: Pedreira, C.G.S. et al., **Produção de Ruminantes**. 2007.

OMONODE, R.A.; TONY, J.V.; SMITH, D.R.; HEGYMEGI, P. & GÁL, A. Soil carbon dioxide and methane fluxes from long-term tillage systems in continuous corn-soybean rotations. **Soil Till. Res.**, v. 95, p.182-195. 2007.

PATRA, A.K. Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: a synthesis of current research and future directions. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.184, p.1929–1952, 2012.

PAULINO, V. T., TEIXERA, E.M.L., **Sustentabilidade de pastagens manejo adequado como medida redutora da emissão de gases de efeito estufa**. Curso de Pós Graduação. Produção animal sustentável, Ecologia de Pastagens, IZ, APTA, 16p., 2009.

PAUSTIAN, K.; ANDREN, O.; JANZEN, H. H.; LAL, R.; SMITH, P.; TIAN, G.; TIESSEN, H.; VAN NOORDWIJK, M.; WOOMER, P. L. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. **Soil Use and Management**, v. 13, n. 4, p. 230-244, 1997.

PEDREIRA, M. dos S.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M. A. DE; FRIGHETTO, R.; OLIVEIRA, S. G. DE ; BERCHIELLI, T. T. Ruminant Methane Emission by Dairy Cattle in Southeast Brazil. **Scientia Agricola**, v.66, n.6, p.742-750, 2009.

PEDREIRA, M. S.; BERCHIELLI, T. T.; OLIVEIRA, S. G.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M. A.; FRIGHETTO, R. Produção de metano e concentração de ácidos graxos voláteis ruminal em bovinos alimentados com diferentes relações de volumoso:concentrado. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 41, 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Embrapa. p. 1-3, 2004.

PINEDA, N. O metano e o boi brasileiro. **Revista DBO**, p.84 - 85, 2010.

PINHEIRO, E. F. M.; LIMA, E.; CEDDIA, M. B.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; Impact off pre-harves burning vs trash conservation on soil carbon end nitrogen estoques on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. **Plant and Soil**, v. 333, n. 1-2, p. 71-80, 2010.

PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M.S. **Aquecimento global e mudanças climáticas: uma visão integrada tropical**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 213p.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R.T.S.; PEDREIRA, M.S. et al. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 277 - 283, 2004.

RESENDE, T. M. Atributos físicos e carbono orgânico em solo sob cerrado convertido para pastagem e sistema misto. **Soc. & Nat.**, v. 27 (3), p. 501-514, 2015.

RICHIE, G. A. F.; NICHOLAS, D. J. D.; Identification of nitrous oxide produced by oxidative and reductive processes in *Nitrossomas europaea*. **Biochemical Journal**, v.126, p.1181-1191, 1972.

ROSENDO, J. S.; ROSA, R., Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. **Soc. & Nat.**, v. 24, n. 2, 359-376, 2012.

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**. v. 47, p. 513-544, 2007.

SALEEM, F. et al. The bovine ruminal fluid metabolome. **Metabolomics**, v. 9, p. 360–378, 2013.

SARMIGHAUSEN, V. C. R.; **Revisão sistemática e metassíntese: medições de Gases de Efeito Estufa (GEE) emitidos pela pecuária bovina brasileira**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2011.

SCHÜTZ, H.; SCHRÖDER, P. & RENNENBERG, R. Role of plants in regulating the methane to the atmosphere. In: SHARKEY T.D.; et al., **Trace gas emissions by plants**. New York, Academic Press, p.29-63, 1991.

SEEG: **Análise das emissões de GEE no Brasil (1970-2013) e suas implicações para políticas públicas**. São Paulo, Observatório do Clima, 52 p., 2015.

SEGNINI, A.; MILORI, D.; SIMÕES, M. Potencial de sequestro de carbono em área de pastagem de *Brachiaria decumbens*. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, **Anais...** Gramado: SBCS, 2007.

SILVA, C.A. & MACHADO, P.L.O.A. **Sequestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas: Estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais**. Embrapa Solos, 23p., 2000.

SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, C. E. P.; LA SCALA JR, N.; DIAS, C. T. S.; CERRI, C. C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, v. 8, p. 015014, 2013.

SIMILI, F. F. Qualidade da pastagem na produção e composição do leite. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 9, n. 2, 2012.

SIQUEIRA NETO, M., PICCOLO, M. C., COSTA JUNIOR, C., CERRI, C. C., BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 63-76, 2011.

SMITH, K.A.; THOMSON, P.E.; CLAYTON, H.; McTAGGART, I.P.; CONEN, F. Effects of temperature, water content and nitrogen fertilisation on emissions of nitrous oxide by soils. **Atmospheric Environment**, v. 32, n. 19, p. 3301-3309, 1998.

SOLLENBERG, L. E. et al. Prescribed Grazing on Pasturelands. In: JERRY NELSON, C. **Conservation Outcomes from Pastureland and Hayland Practices**, Lawrence: Allen Press, p. 111-204, 2012.

STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V.; ROSALES, M.; DE HAAN, C. 2006. Livestock's long Shadow. **Environmental tissues and options**, Roma. 390 p., 2006.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 755-760, 2004.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Evaluation ruminant livestock efficiency projects and programs: peer review draft**. Washington: United States Environmental Protection Agency, 48p. 2000.

VALENTE, T. N. P.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S. C.; CUNHA, M.; QUEIROZ, A. C.; SAMPAIO, C. B. In situ estimation of indigestible compounds contents in cattle feed and feces using bags made from different textiles. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.3, p.666-675, 2011

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3583, 1991.

VARNER R. K., Keller M, Robertson JR et al. (2002) Experimentally induced root mortality increased nitrous oxide emission from tropical soil. **Geophysical Research Letters**, v., 29, 1–7.

VIEIRA, S. S., ZOTTI, C. A., PAULINO, V. T. **Práticas de manejo para minimizar a emissão de gases de efeito estufa associadas ou não ao uso de fertilizantes**. Curso de Produção Animal Sustentável Instituto de Zootecnia APTA/SAA, Nova Odessa, SP, 45p., 2010.

VILELA, L.; BARCELLOS, A. de O.; SOUSA, D.M.G. **Benefícios da integração entre lavoura e pecuária**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 21p.

WILM, H. G.; COSTELLO, D. F.; KIPPLE, G. E. Estimating yield by the double-sample method. **Journal of American Society of Agronomy**, v. 36, n. 1, p. 194-203, 1944.

WUEBBLES, D.J. & HAYHOE, K. Atmospheric methane and global change. **Earth-Sci. Rev.**, 57:177-210, 2002.

ZINN, Y.L.; LAL, R. & RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil Till. Res.**, v. 84, p. 28-40, 2005.

WATANABE, P. **66% das emissões brasileiras de CO2 vêm de atividade agropecuária.** <http://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2016/09/1810765-66-das-emissoes-brasileiras-de-co2-vem-de-atividade-agropecuaria.shtml>. Acesso em 10/09/2016.