

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**FLUXOS E BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SOLO DO
URUGUAI AFETADO POR SISTEMAS DE MANEJO**

Lucía Salvo Álvarez

(Tese)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**FLUXOS E BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SOLO DO
URUGUAI AFETADO POR SISTEMAS DE MANEJO**

LUCÍA SALVO ÁLVAREZ

Engenheira-Agrônoma (Universidad de la República-UdelaR)
MSc. Ciências do Solo (UdelaR)

Tese de Doutorado apresentada como
um dos requisitos à obtenção do
Grau de Doutor em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Março de 2014

LUCÍA SALVO ÁLVAREZ
Engenheiro Agrônomo (UdelaR)

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para a obtenção do Grau de
DOUTOR EM CIÊNCIA DO SOLO

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Aprovada em:
Pela Banca Examinadora

Homologado em:
por

CIMÉLIO BAYER
Professor Orientador
PPG-Ciência do Solo

Coordenador do Programa de Pós-
Graduação em Ciência do Solo

CARLOS GUSTAVO TORNQUIST
Departamento de Solos/UFRGS

JEFERSON DIECKOW
Departamento de Solos/UFPR

CARLOS H. PERDOMO
Departamento de Suelos/UDELAR

Diretor da Faculdade de Agronomia

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, tornaram possível a realização do meu doutorado.

Ao Professor Cimélio Bayer que, desde o início, se dispôs a me receber e orientar e que, além disso, mostrou disposição e interesse em realizar o estudo no Uruguai e que, nos momentos de dificuldade no desenvolvimento do trabalho, discutiu comigo, de igual para igual, sobre os diferentes assuntos.

À UFRGS, por me possibilitar a realização dos estudos de Doutorado e por me acolher durante os quatro anos de duração dos mesmos.

Ao Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) e à Agencia Nacional de Investigación e Innovación, por financiar os meus estudos no exterior, assim como à Faculdade de Agronomia do Uruguai (UDELAR) por me dar licença para a realização do Doutorado.

Aos membros da banca examinadora, Gustavo Tornquist, Jeferson Dieckow e Carlos Perdomo pelas suas valiosas contribuições para o aprimoramento da pesquisa e da tese.

Aos colegas do PPG em Ciência do Solo, e especialmente aos do Manejo do solo, pela amizade, companheirismo, ajuda e tempo compartilhado. Levarei comigo grandes lembranças e amigas/os!

Aos funcionários do Departamento de Solos e do PPG em Ciência do Solo, especialmente ao Jader Amaro por sua grande disposição e ao Luiz Antonio da Silveira por sua amizade, companheirismo, ajuda e alegria.

Aos colegas e funcionários do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UDELAR e da Estação Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC) em Paysandu, pelo constante apoio e ajuda na realização dos meus estudos de doutorado. Obrigada Amabelia Del Pino, Jorge Hernández, Amilcar

Rodriguez, Oswaldo Ernst, Guillermo Siri, Cecilia Di Pace e todos/as os/as bolsistas que trabalharam na coleta de gases.

Quero agradecer muito especialmente à família Perez Frontini, Carlos Hexsel e Susana Soares pela preocupação, dedicação e ajuda para minha instalação e vida em Porto Alegre.

À minha família e ao Juan Pablo Perez que sempre têm estado comigo, me acompanhando, ajudando e me dando força para enfrentar os desafios assumidos.

OBRIGADA!

FLUXOS E BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SOLO DO URUGUAI AFETADO POR SISTEMAS DE MANEJO ¹

Autor: MSc. Lucía Salvo Alvarez
Orientador: Prof. Dr. Cimélio Bayer

RESUMO

A agricultura é uma importante fonte de gases de efeito estufa (GEE). Porém, ela também tem grande capacidade de mitigá-los, através do uso de práticas de manejo que resultem no sequestro do CO₂ atmosférico na matéria orgânica do solo (MOS) e que diminuam as emissões de óxido nitroso (N₂O) e de metano (CH₄). A pesquisa foi desenvolvida em experimento de longa duração (18 anos), em Paysandu, Uruguai, e teve os seguintes objetivos: i) avaliar o efeito de rotações de culturas contínuas e culturas-pastagens sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) sobre a emissão e balanço de GEE; ii) identificar as principais variáveis de solo e meteorológicas controladoras dos fluxos de N₂O e CH₄ do solo. Avaliou-se uma sequência de culturas contínuas (trigo-soja) (CC) e uma sequência de cultura-pastagem (três anos de trigo-soja e três anos de pastagem perene) (CP), ambas sob PC e PD, sendo que no sistema de PD avaliou-se também uma sequência de trigo-milho (CCPDC4). Durante dois anos foram avaliados os fluxos de N₂O e de CH₄ do solo utilizando a metodologia de câmaras estáticas e análise da concentração dos gases por cromatografia gasosa. No caso do CO₂, o fluxo líquido deste gás foi avaliado através da variação dos estoques de C na MOS (0-18 cm), entre os anos 2003 e 2011. Os sistemas de manejo não se diferenciaram (P<0.1) nas emissões de N₂O nem nas quantidades de CH₄ oxidado pelo solo, com magnitudes anuais entre 1,89 e 3,98 kg N-N₂O ha⁻¹ ano⁻¹ e entre -1,00 e -0,39 kg de C-CH₄ ha⁻¹ respectivamente. As emissões de N₂O concentraram-se principalmente no inverno e as principais variáveis controladoras dos fluxos foram a porosidade preenchida por água e os teores de NO₃ no solo. Os fluxos de CH₄ não foram claramente explicados por nenhuma das variáveis de solo e meteorológicas avaliadas e também não apresentaram sazonalidade. O CCPC foi o único sistema que apresentou queda dos estoques de C no solo, liberando CO₂ para a atmosfera. Em termos de balanço das emissões, em CO₂ equivalente, este sistema apresentou o maior potencial de aquecimento global (PAG) por unidade de área (581 kg C equivalente ha⁻¹ ano⁻¹) e também por unidade de energia bruta produzida (47,9 kg C equivalente Gcal⁻¹). Neste sentido, a emissão foi quase duas vezes a mais que nos sistemas em rotação com pastagens e quase três vezes mais que os sistemas de agricultura contínua sob PD, que foram os mais eficientes. Assim, os sistemas de manejo de solo considerados conservacionistas, desde o ponto de vista de manter ou aumentar os níveis de C na MOS, também foram capazes de mitigar as emissões de GEE em comparação a sistemas de agricultura contínua sob PC.

¹ Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (83p.) Abril, 2014. Trabalho realizado com apoio financeiro da ANII.

FLUXES AND BALANCE OF GREENHOUSE GASES OF A SOIL IN URUGUAY, AFFECTED BY DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS ²

ABSTRACT

Author: MSc. Lucía Salvo Alvarez
Adviser: Prof. Dr. Cimélio Bayer

Agriculture is a major source of greenhouse gases (GHG). However, this problem is considerably mitigated through the use of soil management practices that result in the sequestration of atmospheric CO₂ in soil organic matter (SOM), and reduce emissions of nitrous oxide (N₂O) and methane (CH₄). This research was conducted in a long-term experiment (18 years) in Paysandú, Uruguay, with the following objectives: i) to evaluate the effect of continuous cropping rotations and crop-pastures rotations under both conventional tillage (CT) and no tillage (NT) on GHG fluxes and balance; and ii) to identify key soil and meteorological variables controlling the fluxes of N₂O and CH₄ of the soil. We evaluated a sequence of continuous cropping (wheat - soybean) (CC) and crop-pasture (three years of wheat - soybean followed by three years of perennial pasture) (CP), under both CT and NT; and a wheat - corn sequence (CCPDC4) under NT. Soil N₂O and CH₄ fluxes were evaluated over a period of two years using the closed chambers method, and gas analysis was performed by gas chromatography. Liquid flux of CO₂ was evaluated in terms of the change in stocks of C in SOM (0 -18cm), between 2003 and 2011. Management systems did not differ ($P < 0,1$) in N₂O emissions or quantities of methane oxidized by the soil. Annual magnitudes ranged from 1,89 to 3,98 kg N₂O-N ha⁻¹ yr⁻¹; and from -1,00 to -0,39 kg CH₄-C ha⁻¹ yr⁻¹, respectively. N₂O emissions were mainly concentrated during the winter; the main variables controlling fluxes were water-filled porosity and NO₃ tenors in the soil. CH₄ fluxes were not clearly explained by either soil or weather evaluated variables and nor showed seasonality. CCCT was the only system which decreased in soil C stocks, releasing CO₂ to the atmosphere. In terms of the balance of emissions of CO₂ equivalent, this system displayed the highest global warming potential (GWP) per unit area (581 kg C equivalent ha⁻¹ yr⁻¹); and per unit of gross energy produced (47,9 kg C equivalent Gcal⁻¹): the emissions were nearly twice of that observed in crop-pasture rotation systems; and almost three times more than in the continuous cropping systems under NT, which were the most efficient systems. Thus, soil conservation management systems, which are able to maintain or increase levels of C in SOM, also mitigated GHG emissions when compared to continuous cropping systems under CT.

² Doctoral thesis in Soil Science - Programa de Pos-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (83p.) April, 2014. Research supported by ANII-Agencia Nacional de Investigación e Innovación (Uruguay).

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Contribuição da agricultura à emissão de GEE	3
2.2 Mudanças nos estoques de carbono do solo pelo uso de diferentes práticas de manejo	5
2.3 Fluxos de metano e óxido nitroso em solos agrícolas de sequeiro	8
2.4 Potencial de Aquecimento Global	12
3. HIPÓTESES GERAIS	14
4. OBJETIVOS GERAIS	15
5. ESTUDO I - Fluxos de N₂O e CH₄ do solo em sistemas de culturas contínuas e culturas-pastagem, sob diferentes sistemas de preparo do solo	16
5.1 Resumo	16
5.2 Introdução	17
5.3 Materiais e Métodos	19
5.3.1 Características do experimento e tratamentos avaliados	19
5.3.2 Amostragem e análise de gases	20
5.3.3 Variáveis de solo e meteorológicas	23
5.3.4 Análise estatística	25
5.4 Resultados e Discussão	26
5.4.1 Condições meteorológicas do período de estudo	26
5.4.2 Fluxos de N ₂ O e variáveis controladoras	26
5.4.3 Fluxos de metano e variáveis controladoras	40
5.5 Conclusões	45
6. ESTUDO II- Balanço de gases de efeito estufa em sistemas de rotação de culturas contínuas e culturas-pastagens sob preparo convencional e plantio direto	46
6.1 Resumo	46
6.2 Introdução	47
6.3 Materias e Métodos	49
6.3.1 Características do experimento e tratamentos avaliados	49

6.3.2 Amostragem e análise de gases	49
6.3.3 Amostragem e acondicionamento das amostras de solo	49
6.3.4 Potencial de Aquecimento Global e Intensidade da emissão de GEE	50
6.3.5 Análise estatística	52
6.4 Resultados e Discussão	52
6.4.1 Condições climáticas do período	52
6.4.2 Emissões anuais de óxido nitroso	53
6.4.3 Emissões ou oxidações anuais de metano	57
6.4.4 Variações dos estoques de COS e custos agrícolas	58
6.4.5 Potencial de aquecimento global	63
6.5 Conclusões	68
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
9. APÊNDICES	83

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Atividades realizadas durante o período de avaliação em função dos sistemas de manejo.....	21
2. Fluxos médios, mínimos, máximos e acumulados anuais de N ₂ O, segundo sistema de rotação e ano de avaliação.....	28
3. Coeficientes de correlação entre as variáveis avaliadas e os eixos de ordenação, na análise de componentes principais.....	34
4. Equações lineares da relação entre a emissão do N ₂ O e a disponibilidade de NO ₃ na data anterior da coleta de gás, coeficientes de regressão e significância das regressões, para cada sistema de rotação. Período 2011-2012.....	37
5. Equações exponenciais da relação entre a emissão do N ₂ O e a Porosidade Preenchida por Água (PPA), coeficientes de regressão e significância das regressões para cada sistema de rotação e os dois anos avaliados.....	38
6. Fluxos médios, mínimos, máximos e acumulados anuais de CH ₄ , segundo sistema de rotação e ano de avaliação.....	41
7. Emissão de N ₂ O do solo de três anos e média de emissão anual para o Uruguai, para os diferentes sistemas de manejo avaliados.....	57
8. Estoques de COS em uma massa de solo de 2153 Mg ha ⁻¹ (equivalente a 0 a 18 cm) para os anos 2003 e 2011 e taxa de variação anual para os diferentes sistemas de manejo.....	59
9. Estimativa dos custos anuais das operações e insumos agrícolas dos anos avaliados, como carbono equivalente (C-CO ₂) (Estimados a partir de Lal, 2004).....	62
10. Balanço de GEE e intensidade da emissão de GEE para os diferentes sistemas de manejo.....	64
11. Produção média estacional e anual de grãos, para os diferentes sistemas de manejo.....	67

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Períodos e situações nas que foram avaliados os GEE e as diferentes variáveis controladoras determinadas, em função do tratamento e ano de avaliação.....	22
2. Precipitação mensal da série histórica (média 1961-1990) e dos anos 2011-2012 e 2012-2013.....	24
3. Temperatura mensal do ar da série histórica (média 1961-1990) e dos anos 2011-2012 e 2012-2013.....	25
4. a) Fluxos de óxido nitroso, b) chuvas diárias e porosidade preenchida por água (PPA), c) N-NO ₃ , d) N-NH ₄ e e) temperatura de 0-5 cm do solo, durante o período 2011-2012 e para diferentes sistemas de rotação.....	30
5. Fluxos de óxido nitroso, b) chuvas diárias e porosidade preenchida por água (PPA), e c) temperatura de 0-5 cm do solo, durante o período 2012-2013 e para diferentes sistemas de rotação.....	32
6. Diagrama de dispersão das variáveis, avaliadas em 32 datas de coletas de gás e para todos os sistemas de rotações (160 unidades amostrais) durante o ano 2011-2012.....	34
7. a) Relação entre a emissão de N ₂ O e a disponibilidade de NO ₃ no momento da coleta de ar para todo o primeiro ano de avaliação b) Relação entre a emissão de N ₂ O e a disponibilidade de NO ₃ na data anterior da coleta de ar para o período pos semeadura do trigo até colheita da cultura de verão do ano 2011-2012.....	35
8. Relação entre a emissão do N ₂ O e a disponibilidade de NO ₃ na data anterior da coleta de gás para cada sistema de rotação (período 2011-2012).....	36
9. Relação entre a emissão do N ₂ O e a Porosidade Preenchida por Água (PPA) para cada sistema de rotação. a) Primeiro ano de avaliação (2011/12), b) Segundo ano de avaliação (2012/13).....	38
10. a) Relação das emissões de N ₂ O com a temperatura do solo para os dois anos avaliados. b) Relação entre a PPA e a temperatura do solo para os dois anos avaliados.....	40
11. Fluxos de metano do solo sob diferentes sistemas de rotação, para o período 2011-2012 (a) e para o período 2012-2013 (b).....	42
12. a) Relação entre o fluxo de C-CH ₄ e a temperatura do solo nas	

rotações sob preparo convencional, para todo o período avaliado;	
b) relação entre a porosidade preenchida por água e a temperatura do solo, segundo sistema de preparo do solo e para todo o período avaliado.....	44
13. Emissões acumuladas de N ₂ O e CH ₄ para os anos 2011-2012, 2012-2013 e para a média dos dois anos, segundo o sistema de rotação.....	54
14. Emissões acumuladas anuais de N ₂ O para diferentes sequências de culturas e sistemas de preparo do solo em três anos de avaliação.....	56

RELAÇÃO DE APÊNDICES

1. Estimativa detalhada dos custos das operações e insumos agrícolas dos anos avaliados, como carbono equivalente (C-CO ₂) (Estimados a partir de Lal, 2004).....	83
2. Temperatura do ar e precipitação diária para o período de avaliação de gases 2011-2012.....	84
3. Temperatura do ar e precipitação diária para o período de avaliação de gases 2012-2013.....	93
4. Fluxos de N-N ₂ O dos diferentes sistemas de manejo do solo e repetições de campo, para o período 2011-2012.....	102
5. Fluxos de C-CH ₄ dos diferentes sistemas de manejo do solo e repetições de campo, para o período 2011-2012.....	105
6. Fluxos de N-N ₂ O dos diferentes sistemas de manejo do solo e repetições de campo, para o período 2012-2013.....	108
7. Fluxos de C-CH ₄ dos diferentes sistemas de manejo do solo e repetições de campo, para o período 2012-2013.....	110
8. Estoques de COS em uma massa de solo de 2153 Mg ha ⁻¹ (equivalente a 0 a 18 cm) para os anos 2003 e 2011 e taxa de variação anual para os diferentes sistemas de manejo e repetições de campo.....	112
9. Porosidade preenchida por água dos primeiros 10 cm do solo dos diferentes sistemas de manejo e repetições de campo, para o período 2011-2012.....	113
10. Porosidade preenchida por água dos primeiros 10 cm do solo dos diferentes sistemas de manejo e repetições de campo, para o	

período 2012-2013.....	115
11. Temperatura do solo dos primeiros 5 cm do solo dos diferentes sistemas de manejo e repetições de campo, para o período 2011-2012.....	117
12. Temperatura do solo dos primeiros 5 cm do solo dos diferentes sistemas de manejo e repetições de campo, para o período 2012-2013.....	120
13. Conteúdo de amônio nos primeiros 10 cm do solo dos diferentes sistemas de manejo e repetições de campo, para o período 2011-2012.....	122
14. Conteúdo de nitrato nos primeiros 10 cm do solo dos diferentes sistemas de manejo e repetições de campo, para o período 2011-2012.....	124
15. Produção anual e estacional de grãos nos diferentes sistemas de manejo e para as diferentes repetições de campo.....	126

1. INTRODUÇÃO GERAL

Nas últimas décadas, há grande preocupação com o rápido aumento nas concentrações atmosféricas de Gases de Efeito Estufa (GEE) de origem antropogênica, apontado como a principal causa do aquecimento global (IPCC, 2007). Dados do 2004 indicaram que 31% das emissões totais eram provenientes da agricultura e da silvicultura, incluindo o desmatamento (IPCC, 2007). Porém, a agricultura tem capacidade de mitigar o Potencial de Aquecimento Global (PAG) através da utilização de práticas de manejo que sequestram o CO₂ atmosférico na matéria orgânica do solo (MOS), e que, por sua vez, emitam menor quantidade de N₂O e CH₄ (Smith et al., 2008).

Inicialmente, os sistemas agrícolas no Uruguai eram de cultivos contínuos em preparo convencional (PC). Este sistema era realizado com várias passadas de ferramentas, e por sua vez, aportava poucos resíduos ao solo, conduzindo à degradação dos mesmos. Tentando reverter essa condição, a partir da década de 70 houve uma adoção generalizada de rotações de culturas e pastagens (Siri et al., 2009). Posteriormente, a partir dos anos 90, a tecnologia de plantio direto (PD) constituiu-se numa realidade de crescente adoção em escala produtiva (Terra et al., 2001; Garcia Préchac et al., 2004). Atualmente, a agricultura tem se especializado e o período de pastagem tem sido reduzido ou eliminado, e sistemas com culturas contínuas estão sendo adotados no país. Neste contexto, no sistema PD, manter ou aumentar os níveis de C na MOS dependerá da sequência de culturas e da manutenção de resíduos no solo. No entanto, o efeito líquido destes sistemas de produção, em relação à emissão total de GEE e ao aquecimento global,

dependerá não só da retenção de carbono que o solo possa realizar, mas também do fluxos de óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4), os quais juntamente com o CO_2 , representam os três principais GEE (Robertson et al., 2000). Porém, poucos estudos têm investigado os três GEE de forma conjunta e por longos períodos de tempo (Snyder et al., 2009).

No Uruguai, o efeito que os sistemas de manejo utilizados no país tem sobre o C na MOS tem sido frequentemente pesquisado (Morón et al., 2003; Baethgen, 2003; Terra et al., 2006; Salvo et al., 2010), mas pouco se sabe sobre os outros GEE. Neste sentido, existe um único trabalho publicado sobre as emissões de N_2O em um solo agrícola (Perdomo et al., 2009).

Assim, este estudo, que avalia os três GEE de forma conjunta, por um período de dois anos e sob diferentes sistemas agrícolas, tem importância não só para o Uruguai, mas também a nível global, pois contar com resultados de diferentes partes do mundo melhora o entendimento sobre como as diferentes regiões edafo-climáticas podem estar afetando as emissões dos GEE. Para o país, os resultados são inovadores e aportam dados locais de emissão de N_2O e de CH_4 em solo agrícola amplamente representativo, os quais são importantes para a realização dos inventários a nível nacional. Por sua vez, soma aos resultados obtidos por outros trabalhos internacionais sobre os efeitos que as diferentes práticas de manejo tem sobre as emissões dos GEE, e quais são as que apresentam maior capacidade para mitigar o PAG.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contribuição da agricultura à emissão de GEE

Gases de Efeito Estufa (GEE) são aqueles que absorvem a radiação infravermelha na atmosfera, prendendo o calor e aquecendo a superfície da terra (Snyder et al., 2009). Nas últimas décadas, há grande preocupação com o rápido aumento nas concentrações atmosféricas de GEE de origem antropogênica, apontado como a principal causa do aquecimento global. Entre 1970 e 2004, as emissões globais de GEE como resultado das atividades humanas aumentaram em 70% (IPCC, 2007).

Dos GEE emitidos pelas atividades humanas, o CO₂ apresenta a maior contribuição relativa. Em 2004, das emissões totais de GEE, o CO₂ foi responsável por 77% do forçamento radiativo, enquanto que o CH₄ e o N₂O foram responsáveis por 14% e 8%, respectivamente (em termos de equivalente CO₂). Dados do mesmo ano indicaram que 31% das emissões totais eram provenientes da agricultura e da silvicultura, incluindo o desmatamento (IPCC, 2007).

Em nível global, estima-se que a agricultura contribui com cerca de 22% do total das emissões de CO₂, 80% das emissões de N₂O e 55% das emissões de CH₄ (IPCC, 2007). No Uruguai, as estimativas para 2004 indicaram que 81% das emissões, em CO₂ equivalente, foram aportadas pela agricultura, responsável pela emissão de 93% e 99% de CH₄ e N₂O emitido no país, respectivamente (Uruguay, 2010). A expressiva contribuição da agricultura nas

emissões de GEE e o potencial desses gases na forçante radiativa, justificam a pesquisa sobre o potencial de mitigação das práticas de manejo do solo nos diferentes sistemas agrícolas.

A agricultura pode reduzir os GEE através de: i) reduzir as emissões, utilizando práticas de manejo mais eficientes, ii) aumentar as remoções de GEE da atmosfera, principalmente através do aumento do estoque de carbono do solo e iii) evitar ou deslocar as emissões, através da utilização de culturas e resíduos agrícolas como fonte de energia, que igual vai libertar CO_2 no processo da combustão, mas terá uma origem atmosférica recente (através da fotossíntese) em vez de C fóssil (Smith et al., 2008).

Inicialmente, os estudos deram grande ênfase ao problema do CO_2 e na capacidade das diferentes práticas agrícolas para sequestrar o carbono atmosférico (Tian et al., 2010). Assim, as práticas conservacionistas que mantenham ou aumentem os estoques de carbono em relação a condição de manejo tradicional, não só estarão realizando uma melhoria ambiental, através do armazenamento de C atmosférico na matéria orgânica do solo (MOS), mas também pela melhoria da capacidade produtiva dos mesmos. É reconhecido mundialmente que a MOS é um dos principais indicadores de qualidade do solo, sendo positivamente relacionada com diferentes propriedades físicas, químicas e biológicas (Reeves, 1997; Brady et al., 2002).

Na atualidade, tem aumentado o interesse em compreender e quantificar os fluxos de CH_4 e N_2O em ecossistemas terrestres, dado que esses gases também têm uma grande responsabilidade sobre as mudanças climáticas (Tian et al 2010). A este respeito, o Potencial de Aquecimento Global (PAG) de N_2O e CH_4 é de 298 e 25 vezes maior, respectivamente, do que a de CO_2 (IPCC, 2007). O efeito dos diferentes sistemas de produção, em relação ao balanço das emissões de GEE em unidades de CO_2 equivalente, expresso pelo PAG, dependerá não só da captura de C na MOS, mas também do fluxo de N_2O e de CH_4 do solo (Robertson et al. 2000), além dos custos em CO_2 das diferentes práticas e insumos agrícolas (Lal, 2004). No entanto, poucos estudos têm investigado os três GEE de forma conjunta e por longos períodos de tempo (Snyder et al., 2009).

2.2 Mudanças nos estoques de carbono do solo pelo uso de diferentes práticas de manejo

Em meados do século XIX a agricultura teve uma grande expansão de área nos países industrializados e, posteriormente, nos países em desenvolvimento, resultado da mecanização agrícola (Mielniczuk, 1999; Lal et al., 2007). Isto conduziu a um processo de degradação dos solos, gerando grandes perdas nos estoques de C, pelo aumento na oxidação e erosão, além de produzir outros efeitos negativos no ambiente (Lal et al., 2007).

A diminuição dos estoques de C na MOS quando a agricultura realiza-se com preparo convencional (PC) tem sido amplamente divulgada pelos pesquisadores. Neste sentido, em um conjunto de 50 comparações de diferentes partes do Canadá foi observado que, quando um solo na sua condição natural foi convertido em terras agrícolas, houve uma perda média de $24 \pm 6\%$ do C orgânico do solo (COS) (VandenBygaart et al., 2003). Resultados semelhantes foram encontrados no Uruguai, onde depois de 35 anos de uma seqüência de culturas contínuas com PC (Cevada – Girassol - Trigo - Sorgo), perdeu-se 25% do COS original, sendo a taxa de perda média de aproximadamente $0,41 \text{ Mg C ano}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (Baethgen, 2003).

Resultados mais extremos foram relatados na Pampa Umida da Argentina, quando em uma pastagem natural foi feita uma monocultura de soja, com baixa adição de resíduos ao solo. Em apenas 13 anos, observou-se uma perda de 28% do COS em uma massa de solo de 2500 Mg ha^{-1} , o que representa uma taxa de perda média anual de $1,46 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Andriulo et al., 1999). Diferentes estudos têm demonstrado que a diminuição do COS com o PC é mais rápido nos primeiros anos de uso agrícola, desacelerando logo até atingir um equilíbrio (Andriulo et al., 1999; Lal, 2001; Alvarez et al., 2006a). Neste momento, o nível de COS pode ser 40 a 75% do COS da situação original (Alvarez et al., 2006a; Lal, 2008).

A utilização do sistema PD associado a culturas que maximizem o aporte de resíduos ao solo são preconizados como práticas de manejo para manter ou aumentar a MOS (Bayer et al., 2000; Snyder et al., 2009). No Uruguai, o uso do sistema PD aumentou significativamente desde 1990, sendo

atualmente utilizado em mais do 80% da área de cultivos (Perez Bidegain et al., 2010).

Em meta-análises de resultados de experimentos de longa duração, onde foram comparados o PD e o PC, concluiu-se que, na maioria dos casos, houve um aumento no conteúdo de C no solo sob sistema PD (Alvarez, 2005; Franzluebbers, 2005; Bayer et al., 2006). No entanto, as taxas de acúmulo de C encontradas sob PD têm sido altamente variáveis (de zero para valores relativamente elevados), já que as mesmas não dependem apenas do manejo do solo, mas também da sua textura e mineralogia, das condições climáticas e das quantidades de resíduos de plantas e N fornecidos pelo sistema (Franzluebbers, 2005; Bayer et al., 2006).

No Canadá, a taxa de acúmulo de C sob PD (em relação ao PC) foi estimada em $0,05 \pm 0,16 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (VandenBygaart, et al., 2003). Lal et al. (1999), em solos dos Estados Unidos, estimaram taxas de acúmulo entre 0,10 a $0,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Na Argentina, os diferentes estudos relatam taxas médias de acumulação de carbono entre $0,35 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a $0,5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Alvarez, 1999; Galantini et al., 2006). Já no Brasil, a taxa média de acumulação de C em solos subtropicais do Sul foi estimada em $0,48 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que para os solos tropicais do Cerrado foi de $0,35 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Bayer et al., 2006). Alvarez (2005), utilizando resultados de um grande número de sítios em todo o mundo, onde o PD era contrastado com o PC, estimou uma taxa de acumulação média de C de $0,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. De acordo com esse autor, 25 a 30 anos após a adoção desse sistema conservacionista de manejo, as taxas de sequestro de C reduzem e os estoques de C no solo tendiam a uma nova "condição de equilíbrio".

A mudança de PC para PD, não só afeta o acúmulo de COS, mas também as quantidades de C-CO₂ geradas quando da realização de práticas agrícolas e quando da produção e aplicação de insumos agrícolas, o que tem sido denominado de custos em CO₂ (Lal, 2004). Diminui o consumo de combustível e de fertilizantes, mas aumenta o uso potencial de outros insumos, especialmente o uso de herbicidas. Para a maioria das culturas cultivadas nos Estados Unidos estima-se uma economia líquida média de $31 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ quando realizadas em PD (West et al., 2002).

Além do uso do PD, outras práticas de manejo podem levar a aumentos nos estoques de COS. Entre estas práticas são mencionadas, a intensificação dos sistemas de cultivo, reduzindo os tempos de pousio e incluindo culturas de cobertura, a diversificação das culturas utilizadas na rotação, o uso de culturas perenes e um manejo adequado dos nutrientes (Janzen et al., 1998a; Bayer et al., 2006; Lal, 2008).

O efeito positivo do uso de adubos e inclusão de pastagens sobre o estoque de COS foi claramente observado em um experimento de longa duração no INIA-La Estanzuela (Uruguai). Nele, após 35 anos de uma seqüência de culturas contínuas sob PC, o uso de adubos gerou uma diferença de 8,7 Mg C ha⁻¹ sobre a mesma rotação não adubada. Quando além da adubação incluiu-se uma pastagem de gramíneas e leguminosas perenes ocupando metade do tempo na rotação, a diferença no estoque de COS respeito à rotação de culturas contínua não adubada, foi aumentada para 22,5 MgC ha⁻¹. Este sistema de rotação de culturas e pastagens, ainda sob PC, conseguiu manter os níveis de COS do início do experimento (Baethgen, 2003).

Díaz-Zorita et al. (2002) encontraram uma interação entre o sistema de preparo e o sistema de rotação. Nas rotações agrícolas sob PC, a inclusão de uma pastagem foi necessária para manter os níveis de COS, não assim nos sistemas sob PD. Porém, alguns estudos reportaram maiores conteúdos de COS sob pastagens perenes que em solos sob sistemas de culturas contínuas em PD (Ismail et al., 1994; Janzen et al., 1998b). O efeito anterior foi também observado em um experimento de rotações de integração lavoura-pecuária realizadas sob PD no Uruguai (INIA-Trinta y tres). Após 8 anos de rotações de culturas contínuas com pouca entrada de resíduos ao solo, o estoque de COS nos primeiros 15 cm teve uma redução significativa de 17%, em comparação com rotações incluindo pastagens perenes (dois anos de culturas e quatro de pastagem), que por sua vez mantiveram os níveis de COS equivalente aos observados em pastagens adjacentes (Terra et al., 2006).

Sistemas com baixo aporte de resíduos, mesmo sob PD, geram uma redução no estoque de COS (Terra et al., 2001; Terra et al., 2006; Diekow et al., 2005; Novelli et al., 2011). Isto ocorre quando a soja é frequentemente incluída em uma rotação, tal como acontece na agricultura da Argentina e do

Uruguai. Para manter os estoques de C em níveis aceitáveis, seqüências de culturas mais equilibradas devem ser utilizadas, por exemplo, culturas de inverno e inclusão de culturas de verão com elevado aporte de biomassa, como milho ou sorgo (Clerici et al., 2004; Perez Bidegain et al., 2010; Salvo et al., 2010; Novelli et al., 2011).

Pode-se concluir que, do ponto de vista do COS, o uso do PD, seqüências complexas com grande aporte de C ao solo, inclusão de pastagens perenes e um fornecimento adequado de nutrientes, seriam práticas recomendadas para aumentar os estoques de COS e compensar as emissões de GEE. No entanto, o efeito destas práticas sobre os fluxos de N_2O e CH_4 nem sempre vão na direção desejada de reduzir as emissões, de modo que tais práticas vão fazer uma verdadeira mitigação se forem capazes de reduzir o PAG (Six et al., 2004).

2.3 Fluxos de metano e óxido nitroso em solos agrícolas de sequeiro

No Uruguai, as duas fontes de emissão de metano mais importantes seriam a fermentação entérica em ruminantes (95%) e arroz irrigado por inundação (5%) (Baethgen et al., 2002).

No solo, existem dois processos microbianos que ocorrem simultaneamente, a metanogênese e a metanotrofia. A metanogênese é um processo anaróbico, responsável pela produção do metano e a metanotrofia é um processo aeróbico responsável da oxidação do mesmo (Topp et al., 1997). O efeito líquido de emissão ou oxidação dependerá do processo dominante. Como o conteúdo de água no solo influi sobre os níveis de oxigênio, o mesmo é de grande importância como regulador da intensidade destes processos (Topp et al., 1997).

Os solos agrícolas de sequeiro geralmente atuam como dreno do CH_4 atmosférico, embora com menor poder de oxidação que solos sob vegetação nativa (Snyder et al., 2009). No entanto, os fluxos de CH_4 (emissão ou absorção) são de pequena magnitude nestes sistemas e tem pouco peso no balanço de GEE (Robertson et al., 2000; Adviento-Borbe et al., 2007).

As práticas agrícolas normalmente têm efeitos negativos sobre a atividade das bactérias oxidantes de CH_4 , sendo as lavrações regulares e a adubação com uréia ou amônia os principais fatores responsáveis pela diminuição da oxidação de CH_4 em solos agrícolas (Goulding, et al., 1996; Hutsch, 2001). O efeito negativo do amônio seria consequência da competição que este exerce em relação a enzima metano mono-oxigenase, encarregada de realizar a oxidação de CH_4 nas bactérias metanotróficas (Topp et al., 1997; Hutsch, 2001) . No longo prazo, adubações repetidas com este tipo de fertilizante podem modificar a população microbiana (Hutsch, 2001). No caso de lavrações regulares, as mesmas diminuem a oxidação de CH_4 como consequência da destruição dos nichos ocupados pelos organismos metanotróficos. É por isso que o PD tem sido indicado como uma prática de manejo que pode melhorar a atividade de bactérias metanotróficas (oxidação de CH_4) em comparação com o PC (Hutsch, 2001).

No caso dos fluxos de N_2O obtidos na interface solo-atmosfera, eles também são o resultado dos processos dinâmicos de produção e consumo pelos microrganismos do solo. No entanto, como as taxas de produção são geralmente maiores do que as taxas de consumo, na maioria dos estudos verifica-se emissão líquida deste gás, embora os fatores que regulam o consumo de N_2O ainda não sejam plenamente entendidos (Chapuis-Lardy et al., 2007).

O N_2O é produzido no solo principalmente por dois processos biológicos: a desnitrificação (processo anaeróbio facultativo) e a nitrificação (processo aeróbico). Porém, existem outras vias metabólicas capazes de produzir N_2O (Wrage et al., 2001; Buterbach-Bahl et al., 2013). A interação dos fatores que regulam estes processos é complexo. A umidade e temperatura do solo assim como a disponibilidade de N (como NH_4 e NO_3) são consideradas as variáveis mais influentes no controle do fluxo de N_2O a partir do solo (Goodroad et al., 1984). Outras características do solo, tanto químicas (pH, matéria orgânica), físicas (textura) e biológicas (vegetação) podem ser importantes em determinadas condições ambientais (Ambus et al., 1995). Dada a grande heterogeneidade dos processos e fatores ambientais controladores das emissões de N_2O , elas são altamente variáveis no espaço e

no tempo, com coeficientes de variação reportados entre 100-300% (Thornton, et al., 1996; Boeckx et al., 2005).

Internacionalmente, tem-se enfatizado no efeito que algumas práticas de manejo têm na emissão de N_2O . Essas práticas seriam, o uso de adubos nitrogenados, o uso de leguminosas e os sistemas de preparo do solo.

A adubação nitrogenada tem um grande efeito sobre as emissões de N_2O . Após o período de fertilização, a magnitude das emissões são maiores e fortemente dependentes das chuvas (Ball et al., 1999; Passianoto et al., 2003). De acordo com Gomes (2006), a emissão média anual de N_2O aumentou 2 a 4 vezes em solos adubados com N em comparação com aqueles sem adubação. O mesmo efeito foi relatado por Zanatta et al. (2010), que reportaram que o maior pico de emissão ocorreu três dias após a aplicação do adubo, coincidindo com o momento que o solo tinha mais que 70% da porosidade preenchida por água, indicando o processo de desnitrificação como o principal responsável pelas emissões.

As magnitudes das emissões de N_2O pela adubação nitrogenada dependerão do momento no ciclo da cultura que são feitas as aplicações. Culturas em crescimento e que estão no momento de maior demanda de nutrientes, competirão efetivamente pelo N mineral disponível no solo, fazendo com que as emissões de N_2O sejam menores (McSwiney et al., 2005). Estes autores reportaram que a percentagem de N do fertilizante que é emitido como N_2O torna-se mais variável com altas taxas de N. Práticas de manejo que melhorem a eficiência do uso de fertilizantes são necessárias para reduzir as emissões de N_2O .

Sobre o uso de leguminosas, tem sido observado que o maior efeito em termos de emissões de N_2O é no momento em que o ciclo se completa e os restos são decompostos e não durante o crescimento ativo das mesmas (Snyder et al., 2009). Há evidências de que sistemas puros de leguminosas em crescimento tiveram maiores emissões de N_2O que sistemas de gramíneas não adubadas, sendo que os sistemas mistos de gramíneas e leguminosas apresentaram emissões intermediárias. Porém, as emissões dos sistemas de leguminosas foram menores quando comparados com sistemas adubados (Veldkamp et al., 1998; Rochette et al., 2004; Gregorich et al., 2005; Parkin et al., 2006). Gomes (2006), comparando a mesma quantidade de N incorporado

por resíduos de leguminosas e de uréia em uma cultura de milho, observou que o uso de leguminosas gerou emissões 3 vezes menores que o adubo. Isto sugere que a inclusão de pastagens na rotação, poderia reduzir as emissões anuais de N_2O em comparação com sequências de culturas contínuas adubadas.

Para os sistemas de preparo do solo, os estudos não permitem observar uma resposta clara do efeito do PD nas emissões de N_2O . Alguns trabalhos indicam que os solos sob PD apresentam maiores emissões de N_2O em relação aos solos sob PC (Passianoto, 2003, Ball et al., 2008; Halvorson et al., 2008), enquanto outros mencionam o efeito oposto (Liebig et al., 2005, Mosier et al., 2006; Escobar, 2011) ou ainda não encontram um efeito diferenciado entre os dois sistemas de preparo (Robertson et al., 2000; Parking et al., 2006). A maior emissão de N_2O pelo PD, é geralmente explicada pela maior compactação superficial, maior conteúdo de água no solo e maiores estoques de C e N que no sistema sob PC. No entanto a maior emissão dos sistemas sob PC é geralmente atribuída a maior mineralização do N dos resíduos vegetais incorporados e exposição da MOS lábil pela quebra dos agregados do solo.

Gregorich et al. (2008), revisando diferentes estudos de campo realizados no leste do Canadá concluíram que a média das emissões de N_2O foram maiores em solos sob PD. Porém, uma importante observação foi que em mais da metade dos estudos, as emissões de N_2O foram menores sob PD. Assim, a emissão média e a diferença entre sistemas de preparo do solo foram fortemente influenciadas por alguns solos sob PD que tiveram emissões muito altas, principalmente em solos de textura fina.

No Uruguai, existe pouca informação sobre os fluxos de N_2O em solos agrícolas. Perdomo et al. (2009) foram os primeiros a apresentar resultados de emissões desse gás em um solo agrícola. Nesse trabalho foi avaliado o efeito da agricultura contínua ou em rotação com pastagens e o efeito dos sistemas de preparo do solo (PD e PC) pelo prazo de um ano. Nas rotações de culturas e pastagens as medidas foram feitas durante a fase de pastagem. Eles concluíram que o fluxo de N_2O emitido pelas culturas e pastagens cultivadas tenderam a ser maiores que pela pastagem natural (3,4 vs 0,64 kg de N- N_2O

ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente). No entanto, não foram encontradas diferenças entre os sistemas de preparo do solo nem entre os sistemas de rotações.

Dada a alta variabilidade interanual observada nos fluxos de N₂O e CH₄ (Dobbie, 2003; Mosier et al., 2006), estudos de longo prazo são importantes para avaliar os efeitos dos sistemas de manejo e das condições climáticas sobre as emissões de GEE (Dobbie, 2003; Gregorich et al., 2008; Escobar, 2011).

2.4 Potencial de Aquecimento Global

Uma prática agrícola que é recomendada para diminuir as emissões de um determinado gás, pode eventualmente aumentar as emissões dos outros GEE (Six et al., 2004). Por isso, a necessidade de avaliar o balanço de GEE envolvidos num determinado sistema produtivo. Este é expresso em termos de equivalente CO₂ (gás de referencia) e constitui o PAG do sistema.

Nos sistemas agrícolas o N₂O e CH₄ são emitidos em menores quantidades do que o CO₂, porém estes tem um potencial de aquecimento global 298 e 25 vezes maior que o CO₂, respectivamente (IPCC, 2007). A modo de exemplo, para compensar a emissão de 1 kg N₂O-N ha⁻¹, 127 kg C-CO₂ ha⁻¹ devem ser sequestrados no solo. Assim, o N₂O mesmo que emitido em poucas quantidades tem um grande efeito no balanço de GEE e não pode ser ignorado quando se avalia o impacto dos diferentes sistemas agrícolas no PAG. Por sua vez, o N₂O tem sido reportado como a principal fonte contribuindo ao PAG, enquanto que o sequestro de COS foi o principal fator mitigador do mesmo (Robertson et al., 2000; Adviento-Borbe et al., 2007).

Embora alguns estudos têm relatado maiores emissões de N₂O em solos sob PD, geralmente este sistema acaba apresentando um balanço de GEE mais favorável, ou seja, menor PAG que o PC. Isto é devido a um maior acúmulo de COS sob PD e, em menor medida, pela menor emissão ou maior absorção de CH₄, o que geralmente compensa as maiores emissões de N₂O (Snyder et al., 2009).

Em estudos de vários anos no Sul do Brasil, foi verificado um balanço de GEE favorável ao sistema de PD, em relação ao PC. Por sua vez, neste sistema conservacionista de manejo do solo, verificaram-se benefícios no

balanço de GEE, quando leguminosas de cobertura do solo foram incluídas na rotação. Este efeito foi consequência do maior acúmulo de C no solo e menor emissão de N₂O em relação ao uso de adubação mineral nitrogenada (Bayer, 2012).

Alvarez (2005) menciona que uma vez que o sistema sob PD atinga o "equilíbrio" (conforme o autor, 25 a 30 anos após a mudança do PC para o PD), a poupança de C deste sistema só será realizada pela diminuição nos custos de C (diferenças no consumo de combustível e insumos respeito ao PC). No entanto, chegado a esse ponto, os solos sob PD terão níveis de COS mais elevados e melhores propriedades do que aqueles sob PC. Nesse caso, práticas de manejo que reduzam as emissões de N₂O serão determinantes para mitigar o PAG. Entretanto, segundo Six et al. (2004), o efeito efetivo do PD em reduzir as emissões de GEE somente ocorre a longo prazo, quando a melhoria da qualidade estrutural do solo resultara em menores emissões de N₂O do que no solo em PC, mesmo com menores taxas de retenção de C na MOS.

Existe uma grande variedade de sistemas produtivos, já que as práticas de manejo, o tipo e as quantidades de insumos, podem ser combinadas de maneira diferente. Assim, dependendo da combinação utilizada, o sistema emitirá maior ou menor quantidade de GEE, embora também variem os níveis de produção obtidos.

Um conceito utilizado para relacionar as práticas agrícolas com o PAG é a intensidade da emissão de GEE (IGEE) (Mosier et al., 2006). Este termo relaciona o PAG com as quantidades produzidas no sistema, indicando a eficiência do mesmo. Porém, pouco é o que se conhece sobre os efeitos dos sistemas de preparo e rotações de culturas na IGEE (Mosier et al., 2006).

Snyder et al. (2009) compararam estudos que trabalharam com sistemas agrícolas contrastantes em relação ao uso de insumos. Eles observaram que, os sistemas mais intensivos emitiram mais GEE por unidade de área, porém, eles também produziram varia vezes mais alimento em termos de calorias, resultando em sistemas mais eficientes. Um uso eficiente da terra permite produzir mais em menor quantidade de área, o que poderia diminuir a entrada de novas terras à produção agrícola, mitigando assim as emissões de GEE (Snyder et al., 2009; Burney et al., 2010).

3. HIPÓTESES GERAIS

- As rotações de culturas-pastagens e sistemas de culturas contínuas baseados no plantio direto e com maior aporte de resíduos, tem maior acúmulo de COS em relação ao sistema de culturas contínuas em PC.
- O maior acúmulo de COS nos sistemas sob plantio direto, compensa os possíveis aumentos nas emissões de N_2O do solo. Assim, o plantio direto apresenta potencial para mitigar as emissões de GEE do solo em comparação ao preparo convencional.
- Como consequência da decomposição de resíduos ricos em nitrogênio, as rotações de culturas-pastagens apresentam maior emissão de N_2O no ano da mudança da fase de pastagem à fase de culturas. Porém, considerando os três GEE, estas rotações apresentam PAG mais favorável em comparação a sistemas de culturas contínuas.

4. OBJETIVOS GERAIS

- Avaliar o efeito de 18 anos de rotações de culturas contínuas e culturas-pastagens sob PC e PD, sobre o acúmulo de COS e as emissões de N₂O e CH₄, de um solo agrícola da região de Paysandú-Uruguai.
- Identificar as principais variáveis de solo e meteorológicas, controladoras das emissões de N₂O e CH₄ do solo.
- Avaliar os diferentes sistemas de manejo quanto ao balanço das emissões de GEE, expresso como potencial de aquecimento global (PAG).

5. ESTUDO I

Fluxos de N₂O e CH₄ do solo em sistemas de cultura contínua e cultura-pastagem, sob diferentes sistemas de preparo do solo

5.1 RESUMO

Em adição ao CO₂, o N₂O e o CH₄ são considerados os principais gases de efeito estufa (GEE) de origem antropogênica. Eles têm um potencial de aquecimento global (PAG) 298 e 25 vezes maior que o CO₂, respectivamente, o que determina que, mesmo emitidos em menores quantidades, tenham uma grande importância quanto às mudanças climáticas. Visando mitigar o PAG em áreas agrícolas, nas últimas décadas tem aumentado o interesse por compreender e quantificar os fluxos de N₂O e CH₄ do solo sob diferentes práticas de manejo. O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento e as magnitudes dos fluxos de N₂O e CH₄ do solo sob sistemas de sequências de culturas contínuas e em rotação com pastagem sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), assim como identificar as principais variáveis controladoras dos mesmos. Avaliou-se uma sequência de culturas contínuas (trigo-soja) (CC) e uma sequência de cultura-pastagem (três anos trigo-soja e três anos de pastagem perene) (CP), ambas sob PC e PD, sendo que no sistema PD avaliou-se também uma sequência de trigo-milho (CCPDC4). Os gases foram avaliados durante dois anos, utilizando a metodologia de câmaras estáticas e análise por cromatografia gasosa. Os sistemas de manejo não se diferenciaram entre si nas emissões de N-N₂O nem nas quantidades de C-CH₄ oxidado pelo solo, com fluxos médios diários entre 22,8 e 48,6 µg m⁻² h⁻¹ e entre -4,7 e -12,2 µg m⁻² h⁻¹ respectivamente (Teste de Tukey, P<0.1). As emissões de N₂O concentraram-se principalmente no inverno e as principais variáveis controladoras dos fluxos foram a porosidade preenchida por água e os teores de NO₃ no solo. Os fluxos de CH₄ não foram claramente explicados por nenhuma das variáveis avaliadas e também não apresentaram sazonalidade. Em função dos resultados, estratégias que reduzam as emissões de N₂O no inverno devem ser procuradas para diminuir as emissões anuais de N₂O, independentemente do sistema de manejo utilizado.

5.2 INTRODUÇÃO

O N_2O e o CH_4 conjuntamente com o CO_2 são considerados os principais gases de efeito estufa (GEE) de origem antropogênico. Embora eles se encontrem em menor concentração atmosférica e sejam emitidos em menores quantidades que o CO_2 , apresentam um potencial de aquecimento global (PAG) de 298 e 25 vezes maior que este último (IPCC, 2007). Além do efeito estufa, o aumento da concentração atmosférica do N_2O também contribui com a destruição da camada de ozônio, com prejuízos para a saúde humana (Ravinshakara et al., 2009).

Inicialmente os estudos deram grande ênfase ao problema do CO_2 e à capacidade das diferentes práticas agrícolas para sequestrar o carbono atmosférico. Porém, atualmente tem aumentado o interesse em compreender e quantificar os fluxos de N_2O e CH_4 em ecossistemas terrestres, dada a grande importância que estes têm sobre as mudanças climáticas (Tian et al., 2010).

O N_2O é produzido naturalmente no solo principalmente por dois processos biológicos: a desnitrificação (processo anaeróbico facultativo) e a nitrificação (processo aeróbico) (Baggs et al., 2010). Porém, tem-se demonstrado que existem outras vias metabólicas capazes de produzir N_2O (Butterbach-Bahl et al., 2013). A interação dos fatores que regulam estes processos é complexo. A umidade e temperatura do solo assim como a disponibilidade de N mineral são consideradas as variáveis mais influentes no controle do fluxo de N_2O a partir do solo (Goodroad et al., 1984; Butterbach-Bahl et al., 2013). Outras características do solo, tanto químicas (pH, matéria orgânica), físicas (textura) e biológicas (vegetação) podem ser importantes em determinadas condições ambientais (Ambus et al., 1995; Butterbach-Bahl et al., 2013).

No caso do CH_4 , existem dois processos microbianos que ocorrem simultaneamente no solo, a metanogênese e a metanotrofia. A metanogênese é um processo anaeróbico, responsável da produção do metano e a metanotrofia é um processo aeróbico responsável da oxidação do mesmo (Topp et al., 1997). Assim, o efeito líquido de emissão ou oxidação dependerá do processo dominante. Por sua vez, como o conteúdo de água no solo influi

sobre os níveis de oxigênio, o mesmo é de grande importância como regulador destes processos (Topp et al., 1997).

Geralmente os solos sob agricultura atuam como dreno do CH_4 atmosférico, embora com menor poder de oxidação que solos sob vegetação nativa (Snyder et al., 2009). As práticas agrícolas normalmente têm efeitos negativos sobre a atividade das bactérias oxidantes de CH_4 , sendo as labrações regulares e a adubação com uréia ou amônia os principais fatores responsáveis pela diminuição da oxidação de CH_4 em solos agrícolas (Hutsch, 2001). Assim, o PD tem sido indicado como uma prática de manejo que pode melhorar a atividade de bactérias metanotróficas (oxidação de CH_4) em comparação com o PC.

Conhecer as variáveis controladoras dos fluxos de GEE ajuda a entender e prever os mesmos, assim como as suas mudanças em resposta a diferentes usos e manejos do solo (Attard et al., 2011).

Historicamente no Uruguai tem-se utilizado sistemas de rotações de culturas e pastagens perenes, porém na última década os sistemas tem-se intensificado, passando em muitos casos a sistemas de agricultura contínua. Por outro lado, desde a década dos 90, houve uma substituição do preparo convencional (PC) pelo plantio direto (PD). Estudos sobre o efeito destes sistemas no COS tem sido frequentes no país (Morón et al., 2003; Baethgen, 2003; Terra et al., 2006; Salvo et al., 2010), mas pouco se sabe sobre os outros GEE. Neste sentido, existe um único trabalho publicado sobre as emissões de N_2O em um solo agrícola (Perdomo et al., 2009).

A bibliografia internacional não permite concluir sobre o efeito dos sistemas de preparo nas emissões de N_2O . Alguns trabalhos indicam que os solos sob PD apresentam maiores emissões de N_2O em relação aos solos sob PC (Passianoto, 2003, Ball et al., 2008; Halvorson et al., 2008), enquanto outros mencionam o efeito oposto (Liebig et al., 2005, Mosier et al., 2006; Escobar, 2011) ou ainda não encontram um efeito diferenciado entre os mesmos (Robertson et al., 2000; Parking et al., 2006).

Por outro lado, Snyder et al. (2009) mencionam que o maior efeito do uso de leguminosas, em termos de emissões de N_2O , é no momento em que o ciclo se completa e os restos são decompostos e não durante o crescimento ativo das mesmas. Há evidências de que sistemas puros de leguminosas em

crescimento apresentam maiores emissões de N_2O que sistemas de gramíneas não adubadas, sendo que os sistemas mistos de gramíneas e leguminosas apresentam emissões intermediárias. Porém, as emissões dos sistemas de leguminosas normalmente são menores quando comparados com sistemas adubados com fontes minerais de N (Veldkamp et al., 1998; Rochette et al., 2004; Gregorich et al., 2005; Parkin et al., 2006).

Os objetivos deste estudo foram: a) avaliar o efeito dos sistemas de manejo de solo sobre as emissões de N_2O e CH_4 do solo; b) avaliar o efeito residual das pastagens nos sistemas de rotação cultura-pastagem na emissão de N_2O do solo, em relação a sistemas de agricultura contínua; c) identificar as principais variáveis de solo e meteorológicas controladoras das emissões de N_2O e CH_4 do solo.

5.3 MATERIAIS E MÉTODOS

5.3.1 Características do experimento e tratamentos avaliados

O experimento de longa duração foi iniciado no ano 1993, na Estação Experimental Mario A. Cassinoni” (EEMAC) da Faculdade de Agronomia em Paysandú- Uruguai ($32^{\circ} 21' S$ y $58^{\circ} 02' W$). A região é sub-úmida (precipitação média anual de 1218 mm), com temperatura média anual de $17.9^{\circ} C$ e com médias de 12 e $24^{\circ} C$ no inverno e verão respectivamente.

O experimento está localizado sobre um solo Argiudol típico (segundo a classificação do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos - USDA), o qual é representativo da área agrícola do Uruguai. O solo apresenta um horizonte A de 18 cm, pH 5.7, argila $289 g kg^{-1}$, silte $437 g kg^{-1}$ e areia $273 g kg^{-1}$, sendo que o terreno tem uma declividade menor que 1%.

Cinco tratamentos foram avaliados: i) rotação de culturas contínuas (trigo no inverno, girassol e soja no verão) sob preparo convencional – **CCPC** e ii) mesma sequência sob plantio direto – **CCPD**; iii) rotação de 3 anos culturas anuais (trigo em inverno, girassol e soja no verão) e 3 anos de pastagens perenes sob preparo convencional – **CPPC** e iv) mesma sequência sob plantio direto – **CPPD**; v) rotação de culturas contínuas com espécies C_4 no verão (trigo no inverno, sorgo e/ou milho no verão) sob plantio direto, – **CCPD-C4**

Nos tratamentos CPPC e CPPD, as pastagens perenes consistiram numa mistura de gramíneas e leguminosas, compostas pelas espécies, *Trifolium repens* L. *Lotus corniculatus* L. e *Festuca arundinacea* Schreb. Estas estiveram presentes entre os anos 1996-1998, entre 2002- 2004 e 2008-2010.

O PC consistiu de uma combinação de gradagem e escarificador e, posteriormente semeadura, enquanto que o PD consistiu da dessecção dos resíduos da cultura anterior e posterior semeadura, diretamente na palha. O manejo dos agroquímicos foi feito em função dos requerimentos de cada sistema de preparo e sequência de culturas. As doses e momentos de aplicação, assim como as atividades específicas realizadas durante o período experimental correspondente à avaliação dos GEE, apresentam-se na tabela 1.

O experimento tem um delineamento experimental de blocos completos ao acaso com três repetições, sendo o tamanho das parcelas de 50 m de comprimento por 10 m de largura.

5.3.2 Amostragem e análise de gases

As avaliações de GEE foram conduzidas nos anos agrícolas 2011-2012 e 2012-2013 (Figura 1), sendo realizadas 52 coletas no primeiro ano de avaliação e 27 no segundo.

No primeiro ano de avaliação as coletas de gás começaram em maio, logo após o PC nos sistemas CCPC e CPPC. Nesse momento finalizava o ciclo de três anos das pastagens e iniciou-se o ciclo das culturas nos sistemas CPPC e CPPD. Assim, os gases foram coletados durante a cultura de inverno (trigo em todos os tratamentos) e durante a cultura de verão, sendo avaliada a cultura de soja nos sistemas CCPC, CPPC, CCPD e CPPD, e milho no sistema CCPDC4.

No segundo ano, as coletas foram iniciadas em julho de 2012 e se estenderam até junho de 2013. Durante esse segundo inverno todos os tratamentos estiveram em pousio, enquanto que no verão novamente foram avaliadas as emissões nas culturas de soja e milho (nos mesmos tratamentos que no ano anterior). Neste ano, o PC de inverno dos sistemas CCPC e CPPC

ocorreu o dia 7 de maio, durante o período sem coleta de gases (24/2 e 9/7) (Tabela 1 e Figura 1).

O trigo foi adubado com nitrogênio em três momentos, semeadura, Z22 (escala Zadock – início do perfilhamento) e Z30 (alongamento do caule principal), sendo que os milhos só foram adubados no estado de V6, dado os altos teores de NO_3 em solo ao momento da semeadura. O detalhe das quantidades pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Atividades realizadas durante o período de avaliação em função dos sistemas de manejo.

Ano	Atividades	Sistemas de manejo				
		CCPC	CCPD	CPPD	CPPC	CCPDC4
2011	Glifosato 4.5 l ha ⁻¹			14/3	14/3	
	Gradagem e escarificador	9/5			9/5	
	Gradagem	13/6			13/6	
	Glifosato 5 l ha ⁻¹		13/6	13/6		13/6
	Semeadura trigo	13/6	13/6	13/6	13/6	13/6
	Adubação 100 kg ha ⁻¹ de 18-46	13/6	13/6	13/6	13/6	13/6
	Uréia Z22 100 kg ha ⁻¹	29/7	29/7	29/7	29/7	29/7
	Herbicida	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9
	Uréia Z30 100 kg ha ⁻¹	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9
	Fungicida	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10
	Colheita	30/11	30/11	30/11	30/11	30/11
	Gradagem e escarificador	30/11			30/11	
	Semeadura Soja e Milho	30/11	30/11	30/11	30/11	30/11
	Glifosato 3 l ha ⁻¹	30/11	30/11	30/11	30/11	30/11
2012	Uréia 100 kg ha ⁻¹	4/1	4/1	4/1	4/1	4/1
	Colheita Soja e Milho	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5
	Gradagem e escarificador	7/5			7/5	
	Glifosato 5 l ha ⁻¹	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8
	Glifosato 3 l ha ⁻¹	1/11	1/11	1/11	1/11	1/11
	Semeadura soja A 4954	1/11	1/11	1/11	1/11	
	Semeadura Milho					13/11
	Adubação 100 kg ha ⁻¹ de 0-23-0	1/11	1/11	1/11	1/11	13/11
	Uréia 120 kg ha ⁻¹					23/12
Glifosato+inseticida	31/12	31/12	31/12	31/12		
2013	Colheita Soja e Milho	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4

Nota: CCPC: cultura continua sob preparo convencional, CCPD: cultura continua sob plantio direto, CPPD: cultura-pastagem sob plantio direto, CPPC: cultura-pastagem sob preparo convencional, CCPDC4: cultura contínua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

Para a coleta de amostras de ar foi utilizada a metodologia de câmaras estáticas, com dimensões de 0,2 m de altura e 0,25 m de diâmetro. As

mesmas constam de duas partes, uma base de alumínio e um topo de cloreto de polivinil (PVC).

As bases foram inseridas no solo a 5 cm de profundidade no dia anterior ao início das avaliações e permaneceram nas parcelas durante todo o período de avaliação. A parte da base exposta na superfície do solo possui uma canaleta para a colocação de água. Assim, no momento da coleta, quando o topo é colocado acima da base consegue-se isolar a atmosfera interna e externa da câmara. Os topos apresentam uma válvula manual para acoplar as seringas utilizadas na amostragem do ar, termômetro para monitoramento da temperatura interna da câmara e ventilador para a homogeneização do ar dentro da câmara.

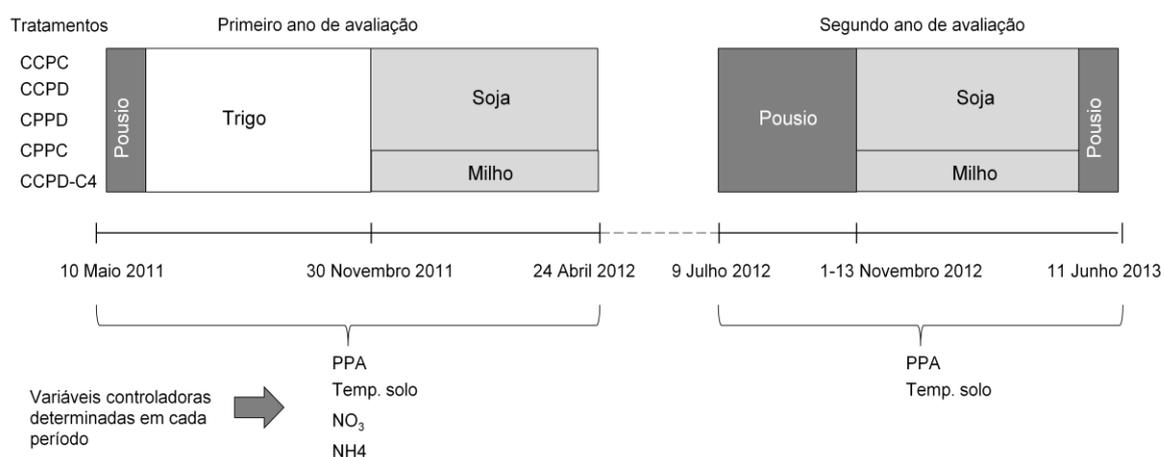


Figura 1– Períodos e situações nas que foram avaliados os GEE e as diferentes variáveis controladoras determinadas, em função do tratamento e ano de avaliação.

Duas câmaras foram dispostas por unidade experimental (consideradas uma amostra composta), totalizando 6 câmaras por tratamento. As câmaras foram colocadas sobre a linha de semeadura nas culturas de inverno e na entrelinha nas culturas de verão.

As coletas foram realizadas duas vezes por semana durante duas semanas após cada evento (preparo, semeadura, adubação), seguido de uma vez por semana durante um mês, e depois quinzenalmente. Todas as coletas foram feitas entre as 9:00 e 12:00 horas da manhã, realizando-se todas as coletas de uma repetição de campo por cada hora desse intervalo de tempo. Tanto Kessavalou et al. (1998) em zonas temperadas como Jantalia et al.

(2008) em zonas tropicais, indicam o fluxo determinado durante as 10 e as 12 hs da manhã como o representativo da média diária da emissão de N₂O do solo. As coletas foram realizadas em três tempos, sendo que a primeira foi feita do ar da atmosfera (tempo zero) e as outras 15 e 30 minutos após o fechamento das câmaras. No tempo zero, a temperatura dos primeiros cinco centímetros do solo foi determinada, entanto que a temperatura da câmara foi determinada em cada tempo de coleta. As amostras de ar foram extraídas em seringas de polipropileno de 20 mL e posteriormente foram depositadas em “vacutainers” com vácuo onde foram mantidas até o momento da análise.

As análises dos gases foram realizadas em equipamento Shimadzu GC 2014 modelo “Greenhouse” e os fluxos dos gases calculados pela equação:

$$F(\text{gás}) = d[\text{gás}]/dt \times PM \times P \times V / R \times T$$

Onde:

$d[\text{gás}]/dt$ é a mudança na quantidade do gás dentro da câmara no intervalo de tempo (L min⁻¹); PM é o peso molecular do gás; V e T são o volume (L) e temperatura interna (°K) da câmara; P é a pressão no interior da câmara, assumida como 1 atm; R é a constante universal dos gases (L.atm.K⁻¹.mol⁻¹).

A variação da concentração dos gases no tempo foi obtida pelo coeficiente angular da equação da reta ajustada. As emissões médias diárias de GEE foram obtidas pelo valor médio do total de câmaras instaladas por tratamento e a emissão anual pela integração da área sob a curva.

5.3.3 Variáveis de solo e meteorológicas

Na maioria dos dias de coleta de gás, uma amostra de solo composta por unidade experimental foi coletada dos primeiros 10 cm de profundidade. Cada amostra de solo foi dividida em duas sub amostras, uma delas foi seca em estufa a 40 °C até peso constante, moída e peneirada em malha de 2 mm, para determinar NH₄ e NO₃. A outra sub amostra foi seca a 105 °C por 24 h para determinar a umidade gravimétrica.

O amônio foi determinado usando o método de azul de indofenol descrito por Mulvaney (1996), substituindo o fenol por salicilato de sódio. O

conteúdo de NO_3 foi determinado por colorimetria (reação de Griess-Ilosvay) depois da redução a nitrito a través de uma coluna de Cd (Mulvaney, 1996). As análises de NH_4 e NO_3 foram feitas no decorrer do primeiro ano de avaliação (Figura 1).

Ao início do período das coletas de ar, amostras com estrutura indeformadas dos primeiros cinco cm de solo foram coletadas para determinação da densidade do solo. Novas amostras para densidade foram coletadas em Fevereiro de 2012, já com a cultura de verão crescendo. Nos dois momentos de amostragem, três amostras por unidade experimental foram coletadas utilizando anéis cilíndricos de três cm de altura por 5,4 cm de diâmetro. As amostras foram saturadas com água e aquelas que sofreram expansão foram cortadas e levadas novamente ao volume do cilindro. Subsequentemente as amostras foram secas em estufa a 105 °C por 48 horas.

Os dados de densidade do solo foram utilizados para a estimativa da porosidade do solo preenchida por água (PPA), a qual consiste na razão entre a umidade volumétrica e a porosidade total do solo (Linn et al., 1984).

Dados diários de precipitação e temperatura do ar foram obtidos da estação meteorológica automática da estação experimental de Paysandú. As Precipitações e temperaturas médias mensais do período avaliado assim como os valores da série histórica apresentam-se nas Figuras 2 e 3.

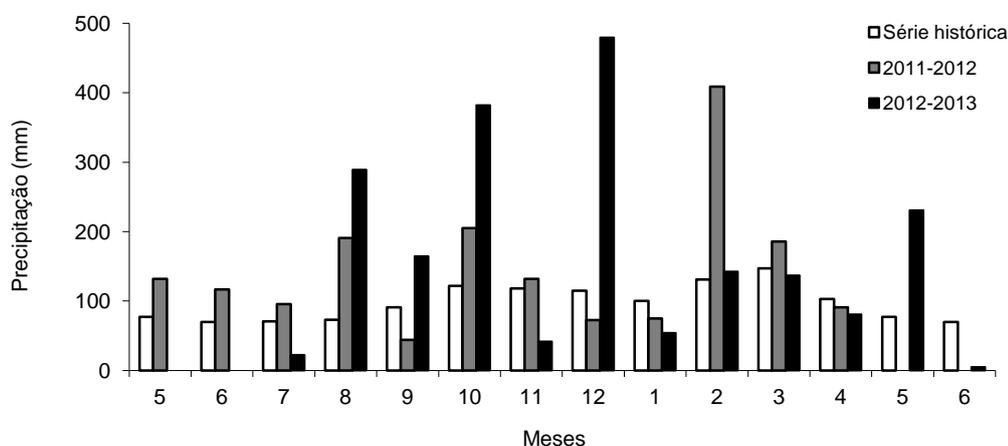


Figura 2- Precipitação mensal da série histórica (média 1961-1990) e dos anos 2011-2012 e 2012-2013.

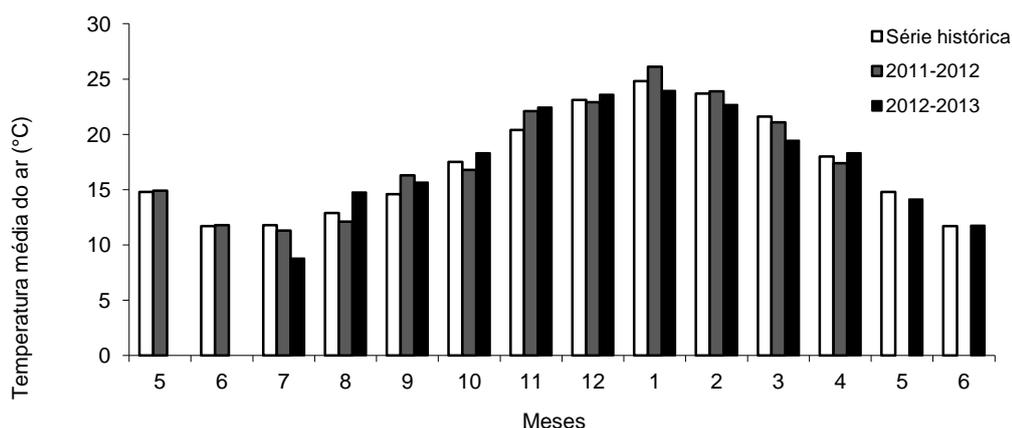


Figura 3- Temperatura mensal do ar da série histórica (média 1961-1990) e dos anos 2011-2012 e 2012-2013.

5.3.4 Análise estatística

Dentro de cada data de coleta, os fluxos de N_2O e CH_4 dos diferentes sistemas de manejo foram submetidos à análise da variância para detectar os momentos nos que houve efeito do tratamento, considerando se diferenças significativas até uma probabilidade de erro menor que 10%.

Por outro lado, as emissões acumuladas de N_2O e CH_4 dos sistemas avaliados também foram submetidas à análise da variância e, posteriormente, a diferença entre médias foi avaliada pelo teste de Tukey ao nível de 10%.

Para o primeiro ano de avaliação, uma análise multivariada dos resultados foi realizada para as variáveis N_2O , nitrato, amônio, temperatura do solo e porosidade preenchida por água. Os dados utilizados foram obtidos em 32 datas de coleta durante todo o período de avaliação e para os diferentes sistemas de rotação e de preparo de solo. Realizou-se uma análise de componentes principais, implementada no aplicativo computacional MULTIV versão 2.78b (Copyright © Pillar, V., UFRGS, 2012). Neste processo foi realizada uma matriz de correlação entre variáveis (centraliza e normaliza os dados), como medida de semelhança. A significância dos eixos selecionados foi avaliada pela auto reamostragem (1.000 permutações), em que para uma determinada probabilidade rejeita-se a hipótese nula e se assume a estruturação significativa dos eixos (Hawkins et al., 1984; Pillar, 1999).

A relação entre as emissões de N₂O, CH₄ e as variáveis controladoras foi avaliada pela significância do coeficiente de determinação (r^2) dos modelos de regressão utilizados.

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.4.1 Condições meteorológicas do período de estudo

Os dois anos avaliados tiveram precipitações acima do registrado na série histórica (1218 mm), sendo 44% e 67% maior para os anos agrícolas 2011/12 e 2012/13, respectivamente (Figura 2). No primeiro ano de avaliação, o aumento em relação com a série histórica foi de 47% no período do trigo (maio-novembro) e 40% no período das culturas de verão (dezembro-abril). Os meses de setembro, dezembro, janeiro e abril foram os únicos que apresentaram um registro de chuvas abaixo da média (Figura 2).

No segundo ano de avaliação o aumento em relação às precipitações da série histórica foi de 89% durante os meses de julho a novembro de 2012 (pousio invernal) e de 52% entre os meses de dezembro de 2012 e junho de 2013 (período da cultura de verão).

Por outro lado, a temperatura média para o primeiro ano de avaliação foi 18,1 °C, 0,2°C superior que a série histórica (Figura 2). As maiores diferenças foram observadas nos meses de setembro, novembro e janeiro, com temperaturas em média 1,6°C acima da média histórica.

Já no segundo ano de avaliação, a temperatura média anual foi 17,8°C, 0,1°C abaixo da série histórica. A primavera foi mais quente e o verão mais frio em relação à série histórica, chamando a atenção o mês de julho, com uma variação de -3°C em relação à mesma (Figura 3).

5.4.2 Fluxos de N₂O e variáveis controladoras

Considerando a média de todos os sistemas de manejo, as emissões médias diárias de N₂O foram de 33,8 e 39,4 µg de N-N₂O m⁻² h⁻¹ para o primeiro e o segundo ano avaliado, respectivamente (Tabela 2). Durante todo

o período de avaliação foi registrado um influxo máximo de $-57,1 \mu\text{g}$ de $\text{N-N}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ e um máximo de emissão de $795,3 \mu\text{g}$ de $\text{N-N}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$.

Na média de todos os tratamentos e considerando todo o período avaliado, 61% das datas coletadas tiveram valores de emissão entre 0 e $20 \mu\text{g}$ de $\text{N-N}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$, o que poderia ser considerado como a linha de base (Figura 4a e 5a). Essa porcentagem amplia-se para 85% quando consideradas todas as datas com emissões entre 0 e $100 \mu\text{g}$ de $\text{N-N}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$. Apenas 7% das coletas corresponderam a influxos de N_2O e 8% a emissões maiores que $100 \mu\text{g}$ de $\text{N-N}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$. Poucos picos de emissão ocorrendo em determinados momentos podem fazer uma importante contribuição nos acumulados anuais de N_2O (Jacinthe et al., 1997). Os fluxos de N_2O apresentam uma grande variabilidade no espaço e no tempo, dando origem ao que se conhece como “pontos quentes” ou “momentos quentes”, difíceis de prever (McClain et al., 2003).

Fluxos negativos de N_2O têm sido reportados em diversos estudos, variando entre $-0,0014$ a $-484 \mu\text{g}$ $\text{N}_2\text{O-N}$ $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ e acontecendo tanto em zonas temperadas como tropicais e sob sistemas naturais e agrícolas, (Chapuis Lardy et al., 2007). Ainda se conhece pouco sobre este assunto, mas dada a grande quantidade de condições sob as quais este fenômeno ocorre, seriam muitos os processos envolvidos no consumo de N_2O . Porém, a desnitrificação (N_2O a N_2) e a desnitrificação nitrificante são assinalados como os principais (Chapuis Lardy et al., 2007).

Como apresentado na tabela 2, a maior emissão diária média e o menor influxo médio de N_2O aconteceram durante o segundo ano de avaliação, possivelmente como consequência da maior precipitação registrada nesse período. Solos com maior conteúdo de água apresentam maior quantidade de sítios de anaerobiose, o que favorece os processos de perda de N_2O por desnitrificação (Robertson et al., 2007).

Tabela 2- Fluxos médios, mínimos, máximos e acumulados anuais de N₂O, segundo sistema de rotação e ano de avaliação.

	CCPC	CCPD	CPPD	CPPC	CCPD-C4
	. . . . . µg N-N ₂ O m ⁻² h ⁻¹				
2011-2012					
Média ⁽¹⁾	32,8	26,5	25,3	46,2	38,1
Mínimo	-30,2	-57,1	-6,2	-5,0	-30,3
Máximo	603,2	346,1	338,4	501,1	647,9
Acumulado anual (kg N-N ₂ O ha ⁻¹)	2,76 a ⁽²⁾	2,22 a	2,13 a	3,88 a	3,20 a
2012-2013					
Média	12,7	39,9	71,8	23,8	48,8
Mínimo	-5,5	-0,7	-0,7	-2,9	1,5
Máximo	50,7	365,4	795,3	179,5	274,7
Acumulado anual (kg N-N ₂ O ha ⁻¹)	1,03 b	3,24 ab	5,83 a	1,93 b	3,96 ab
Média período 2011-2013					
Acumulado anual (kg N-N ₂ O ha ⁻¹)	1,89 a	2,73 a	3,98 a	2,91 a	3,58 a

⁽¹⁾ Média calculada dividendo a emissão acumulada pelo total de dias avaliados.

⁽²⁾ Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre sistemas de manejo (P<0,1).

Nota: CCPC: cultura continua sob preparo convencional, CCPD: cultura continua sob plantio direto, CPPD: cultura-pastagem sob plantio direto, CPPC: cultura-pastagem sob preparo convencional, CCPDC4: cultura continua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

Os valores médios diários de emissão significaram uma emissão anual que, dependendo do sistema de manejo, variou entre 2,13 e 3,88 kg N-N₂O ha⁻¹ no primeiro ano (2011/12) e de 1,03 e 5,83 kg N-N₂O ha⁻¹ no segundo ano (2012/13).

No primeiro ano, os tratamentos não se diferenciaram significativamente nos acumulados anuais (P<0,10), embora os sistemas CPPC e CCPD-C4 tenham apresentado as maiores magnitudes de emissão e o sistema CPPD a menor. Contrariamente ao reportado por Snyder et al. (2009), a passagem da fase de pastagem para a fase de culturas não gerou maiores emissões de N₂O que aqueles sistemas que vinham com culturas contínuas. É possível que a composição das pastagens no momento de realizar os preparos tenha influenciado nesse resultado, pois foi observada uma predominância das espécies gramíneas sobre as leguminosas (não quantificado).

No segundo ano, de forma inversa ao acontecido no primeiro ano de avaliação, foi o sistema CPPD que apresentou a maior emissão anual de N₂O (Tabela 2). Porém, este sistema não se diferenciou significativamente dos outros sistemas em PD, mas foi superior aos sistemas em PC (P<0,10). Os PC

foram realizados em maio de 2012 e as coletas de ar começaram apenas em julho desse ano, assim, fica a dúvida se nesse período de maior revolvimento do solo não teriam sido perdidos alguns picos de emissão nesses sistemas de PC. Inconsistências dos resultados entre anos, também foram reportados por Gregorich et al. (2008), comparando diferentes sistemas de preparo do solo.

Na média dos dois anos, não foram registradas diferenças significativas nas emissões acumuladas anuais entre os sistemas de manejo do solo ($P < 0.10$), estando os valores entre 1,89 e 3,98 kg N-N₂O ha⁻¹ ano⁻¹.

Estes resultados concordam com os reportados por outros autores, que não encontraram diferenças nas emissões de N₂O do solo sob diferentes sistemas de preparo (Robertson et al., 2000; Parking et al., 2006). Por outro lado, não foi possível detectar diferenças entre os sistemas em rotação com pastagem de aqueles com culturas contínuas, resultado que vai de encontro com os de Perdomo et al. (2009).

No primeiro ano de avaliação, os maiores picos de emissão de N₂O aconteceram durante o período do trigo, onde ocorreram entre 82 e 90% das emissões anuais, dependendo do tratamento considerado (Figura 4a). Durante esse período foi onde se observou o maior número de datas com diferenças significativas entre tratamentos, embora na maioria dos casos as mesmas não coincidiram com os momentos de maior emissão.

Com exceção do tratamento CCPC, que teve um pico de emissão importante no pousio anterior ao trigo e entre as duas passadas de ferramenta, os picos de emissão maiores que 100 µg de N-N₂O m⁻² h⁻¹ aconteceram entre a semeadura da cultura de inverno até logo após da adubação no estágio de Z22 do trigo (início do perfilhamento) (Figura 4a). Esses picos aconteceram normalmente em condições de alta umidade e altos teores de NO₃ (Figura 4 a, b, c e d). A não verificação de aumento do N mineral, nas figuras 4 b e c, logo após da adubação nitrogenada na semeadura do trigo, deveu-se a que a adubação foi feita na linha de semeadura e a amostragem do solo para análise de N feita na entre linha.

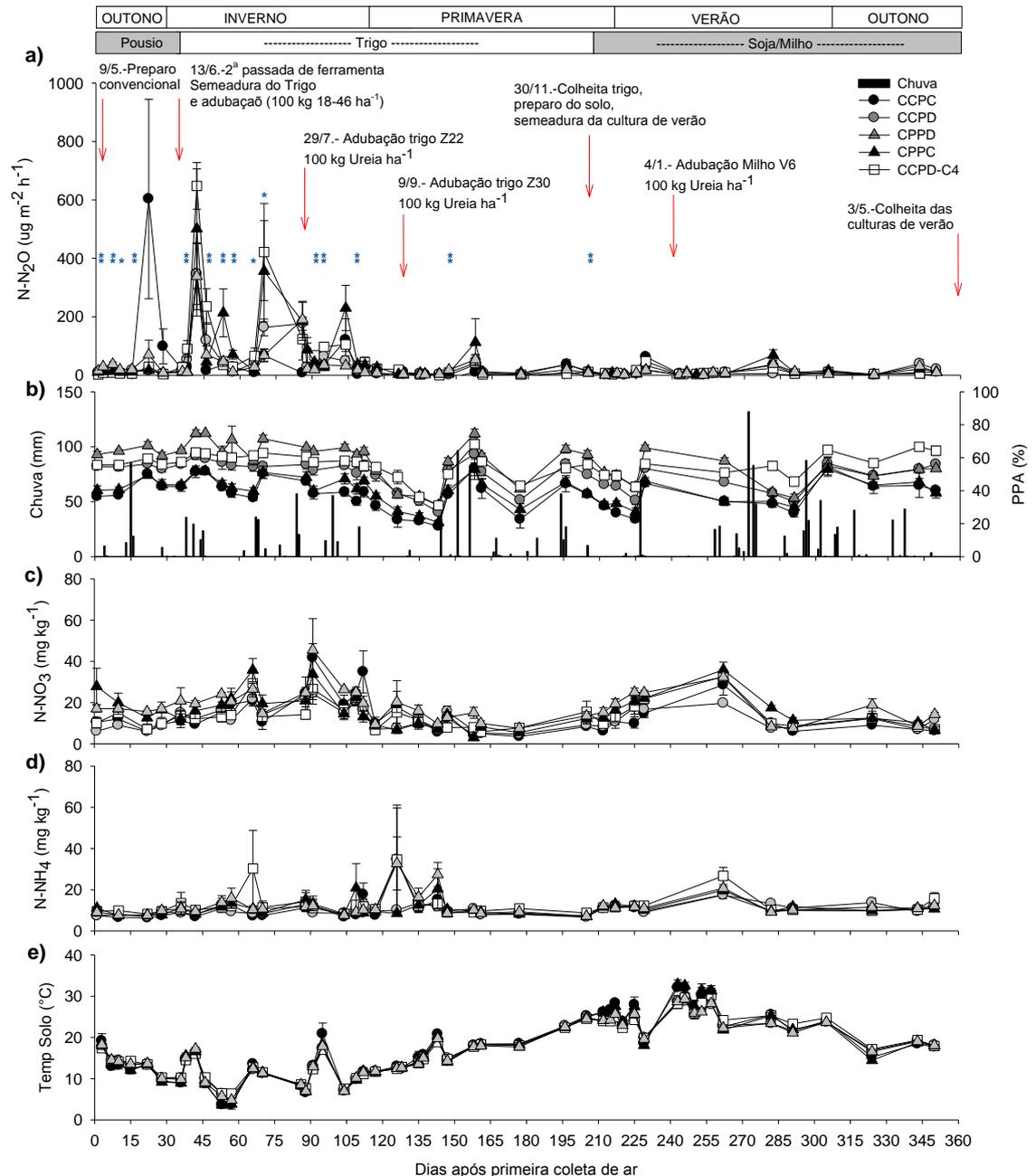


Figura 4- a) Fluxos de óxido nitroso, b) chuvas diárias e porosidade preenchida por água (PPA), c) $N-NO_3$, d) $N-NH_4$ e e) temperatura de 0-5 cm do solo, durante o período 2011-2012 e para diferentes sistemas de rotação.

Nota: Dia 1= 9/5/2011. ** $P < 0,05$; * $0,05 \leq P \leq 0,1$. As barras verticais representam o erro padrão da média. CCPC: cultura contínua sob preparo convencional, CCPD: cultura contínua sob plantio direto, CPPD: cultura-pastagem sob plantio direto, CPPC: cultura-pastagem sob preparo convencional, CCPDC4: cultura contínua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

A ausência de emissão de N_2O após a terceira adubação em Z30 (prévio alongamento do caule principal), possivelmente se explique pelo menor conteúdo de água registrado durante esse período (Figura 4 a e b). Esta condição não teria sido favorável para os processos de emissão, ainda que com relativamente altos níveis de NO_3 (Figura 4 a, b, c e d). Posteriormente, os

teores de N mineral diminuíram, possivelmente pelos altos requerimentos da cultura do trigo nesse estágio de desenvolvimento, fazendo com que uma menor quantidade de N-mineral ficasse disponível no solo e suscetível aos processos de perdas.

Durante a cultura de verão quase não se observaram picos de emissão, e os poucos que houveram foram de baixa magnitude. Nesse período, a umidade do solo teve maiores flutuações que no inverno, possivelmente pelas maiores temperaturas do ar e a maior evapotranspiração. De forma geral, os níveis de N mineral foram baixos durante todo o período estival e só se incrementaram logo após da adubação nitrogenada no estágio V6 do milho (Figura 4 c e d). Nesse momento aconteceu uma chuva importante que umedeceu o solo, mas é provável que a alta demanda da cultura de milho por N durante esse estágio de desenvolvimento, tenha competido pelo nutriente, deixando ele menos disponível para os processos de produção de N_2O (Figura 4 a, b, c e d).

No segundo ano de avaliação, entre 57 a 68% das emissões anuais concentraram-se nos períodos de pousio, com exceção dos sistemas CCPC e CCPD cujas emissões concentraram durante o período da cultura de verão (61 e 63% respectivamente). Porém, a magnitude anual de emissão do sistema CCPC foi muito baixa e no caso do sistema CCPD foi devido a um único pico de emissão.

Foi durante os períodos de pousio que observou-se o maior número de datas com diferenças significativas entre tratamentos (Figura 5 a). Maiores emissões de N_2O em períodos de pousio em relação a períodos de culturas também tem sido observados por outros autores (Perdomo et al.,2009). Neste sentido, Mosier et al. (2003) tem sugerido que diminuir os tempos de pousio pode ser uma pratica a considerar para diminuir as emissões de N_2O .

Neste segundo ano, os picos de emissão de N_2O também aconteceram em momentos com alto PPA, logo após de períodos de chuva, e em períodos sem crescimento ativo de culturas (Figura 5 a e b). Como já mencionado, durante este ano não se tomaram registros de N mineral e assim não foi possível relacionar os picos de emissão de N_2O com esta variável.

Os resultados obtidos a partir de dois anos de avaliação sugerem que de forma geral, os picos de emissão de N_2O ocorreram logo após os períodos

de chuva, com aumento da porosidade do solo preenchida por água, e com altos níveis de N-mineral no solo antes do evento, condições que estariam favorecendo os processos de emissão (Goodroad et al., 1984; Passianoto et al., 2003; McSwiney et al., 2005; Laville et al., 2011). Este mesmo comportamento foi reportado por Perdomo et al. (2009) em uma avaliação anterior realizada no mesmo experimento.

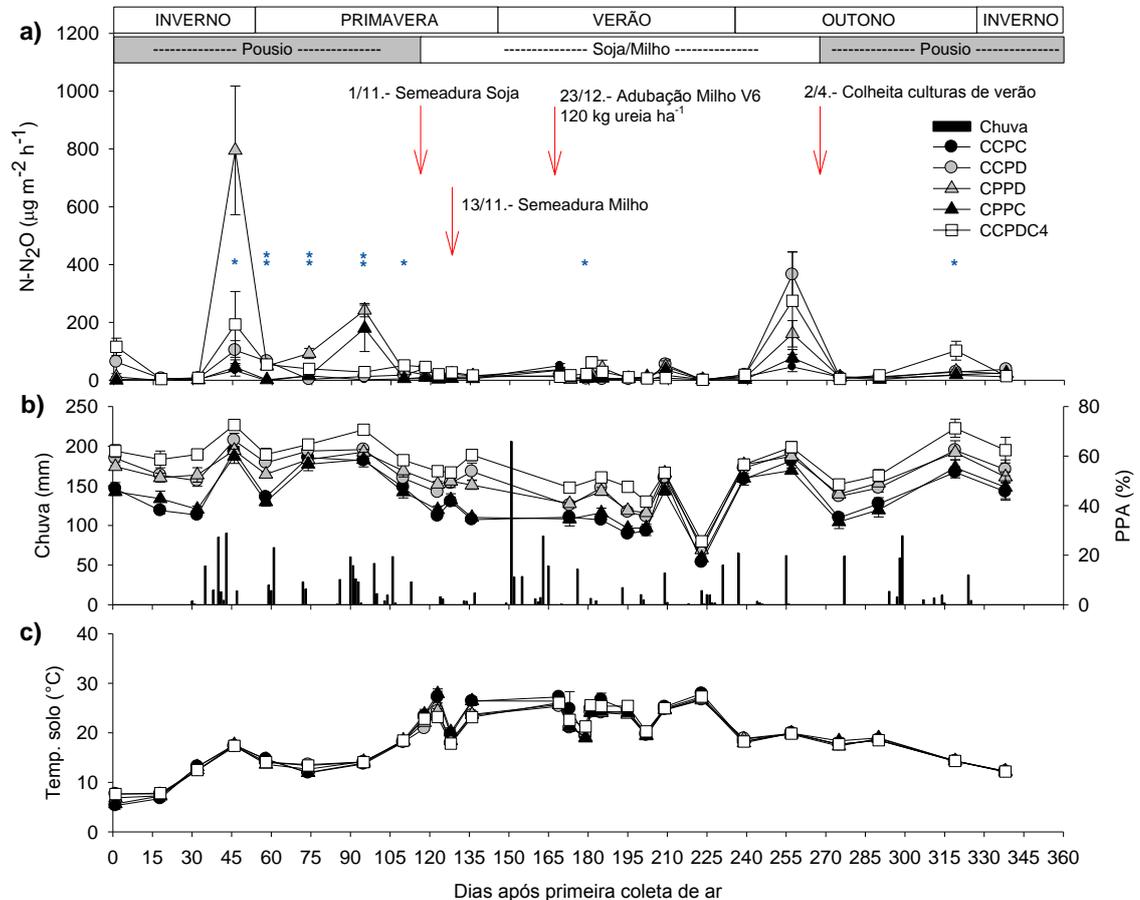


Figura 5- a) Fluxos de óxido nitroso, b) chuvas diárias e porosidade preenchida por água (PPA), e c) temperatura de 0-5 cm do solo, durante o período 2012-2013 e para diferentes sistemas de rotação.

Nota: Dia 1= 9/7/2012. **P<0,05; *0,05≤P≤0.1. As barras verticais representam o erro padrão da média. CCPC: cultura contínua sob preparo convencional, CCPD: cultura contínua sob plantio direto, CPPD: cultura-pastagem sob plantio direto, CPPC: cultura-pastagem sob preparo convencional, CCPDC4: cultura contínua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

Em nossas condições, os períodos de menor crescimento das culturas invernais (primeiro ano) e/ou pousio invernal (segundo ano) foram mais propensos a emitir N₂O. Uma possível explicação pode estar nos maiores e mais estáveis conteúdos de água do solo em relação ao período das culturas de verão, quando existe maior evapotranspiração (Figura 4b e 5b). Assim,

estando o solo com alto conteúdo de umidade, qualquer aumento de N mineral favoreceria o processo de desnitrificação. Por sua vez, culturas em crescimento que estejam no momento de maior demanda de nutrientes, competirão efetivamente pelo N mineral do solo, fazendo com que as emissões de N_2O sejam menores (McSwiney et al., 2005). Assim, o fracionamento do adubo nitrogenado, como recomendado no Uruguai (Hoffman et al., 2010), pode ser uma estratégia para diminuir as emissões de N_2O . Porém, a quantidade de chuvas após a adubação é um fator chave na determinação das magnitudes das emissões de N_2O (Ruser et al., 2001).

Concordando com Dobbie et al. (2003), pareceria que qualquer variável controladora pode-se tornar limitante da produção de N_2O em determinadas situações. Por exemplo, quando os teores de NO_3^- estiveram baixos, as emissões também foram baixas, ainda em condições de solo com alta PPA. Baixas emissões também foram registradas quando os teores de NO_3^- foram altos e estes coincidiram com condições do solo de baixa a média PPA, sendo que nesses casos, a falta de umidade e sítios de anaerobiose foram os fatores limitantes para a produção de N_2O .

As tendências anteriores também foram verificadas quando realizou-se a análise de componentes principais para todas as variáveis do primeiro ano avaliado (Figura 6). No diagrama de dispersão, os dois eixos foram significativos ($P < 0,10$), sendo que o primeiro e segundo eixo representaram 34% e 25% da variância total dos dados, respectivamente.

O primeiro eixo correlacionou-se positivamente com as variáveis PPA, NO_3^- e N_2O , e negativamente com a temperatura do solo (Figura 6; Tabela 3). O NH_4^+ da data anterior à coleta de ar foi a única variável que ficou fortemente relacionada com eixo 2, tendo pouca relação com as emissões de N_2O .

Pelo diagrama, pode ser observado que as emissões de N_2O estiveram principalmente associadas aos primeiros 180 dias de coletas, e foram relacionadas a momentos com maiores percentagem de PPA e disponibilidade de NO_3^- na data anterior à coleta de ar. O N_2O apresentou uma correlação positiva com essas variáveis de 0,25 e 0,20 respectivamente (obtidas da matriz de semelhança de correlação, não apresentada).

Por sua vez, as emissões de N_2O foram negativamente relacionadas com a temperatura do solo. Os últimos 180 dias de coletas se corresponderam

com o período de primavera verão. Durante esse período registraram-se as maiores temperaturas, os menores teores de NO_3 no solo, menor PPA e assim, menores emissões de N_2O .

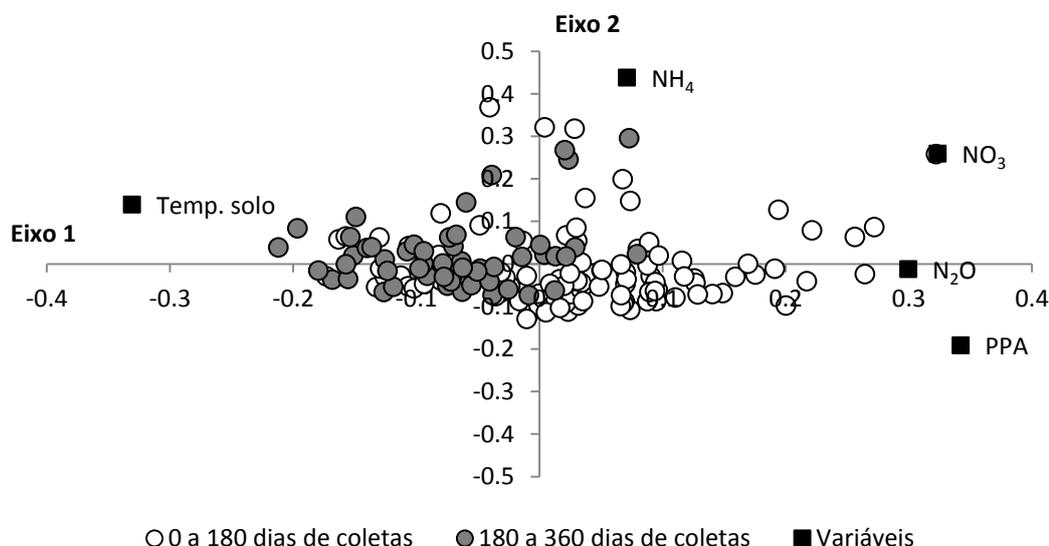


Figura 6 - Diagrama de dispersão das variáveis, avaliadas em 32 datas de coletas de gás e para todos os sistemas de rotações (160 unidades amostrais) durante o ano 2011-2012.

Nota: Os coeficientes de correlação das variáveis com os eixos foram multiplicados por 0.5 para melhor visualização do gráfico.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação entre as variáveis avaliadas e os eixos de ordenação, na análise de componentes principais.

Variáveis	Coordenadas Principais	
	Eixo 1	Eixo 2
Autovalores	1,70	1,26
Porcentagem da variância explicada	34,1	25,3
Emissão N_2O ($\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$)	0,60	-0,02
Temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$)	-0,66	0,28
PPA (%)	0,68	-0,38
NH_4^+ (mg N kg^{-1})	0,14	0,88
NO_3^- (mg N kg^{-1})	0,65	0,52

As diferentes variáveis não foram claramente associadas com uma determinada sequência de culturas ou preparo do solo, sendo que o único padrão encontrado foi com o decorrer do tempo, apresentado na figura 6 e explicado acima.

O comportamento encontrado na Figura 6 manteve-se quando a análise de componentes principais foi limitada ao período de emissões, compreendido

entre a semeadura do trigo até 14 de outubro, com a característica que a disponibilidade de NO_3 da data anterior à coleta de ar apresentou-se como a variável mais relacionada às emissões de N_2O , com uma correlação de 0,45 (dados não apresentados).

Relacionando o N_2O com a disponibilidade de NO_3 no solo no momento da coleta de ar (Figura 7a), pode-se observar que as maiores emissões ocorreram quando os teores de NO_3 foram de médios a baixos, com valores menores que 20 mg N kg^{-1} solo. Porém, quando as emissões foram relacionadas com a disponibilidade desses compostos na data anterior da coleta de ar, foi verificada uma relação linear positiva entre os conteúdos de NO_3 e as emissões de N_2O (Figura 7b).

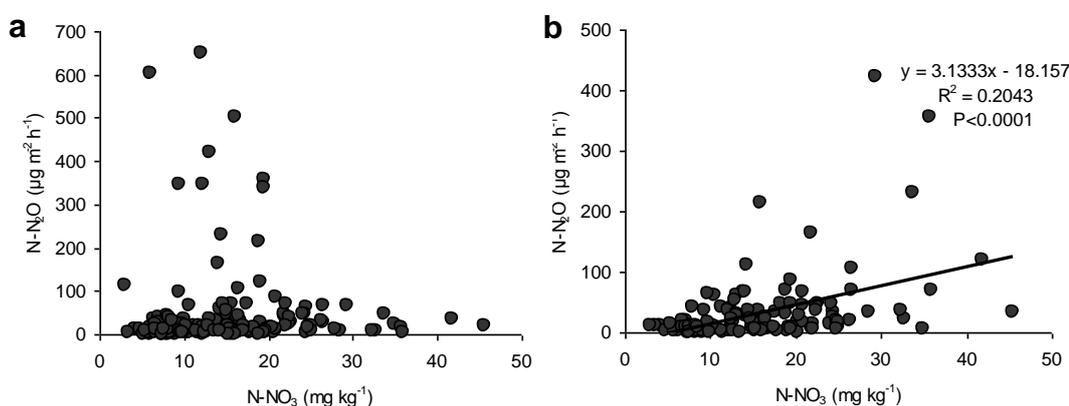


Figura 7 – a) Relação entre a emissão de N_2O e a disponibilidade de NO_3 no momento da coleta de ar para todo o primeiro ano de avaliação b) Relação entre a emissão de N_2O e a disponibilidade de NO_3 na data anterior da coleta de ar para o período pos semeadura do trigo até colheita da cultura de verão do ano 2011-2012.

A diminuição do NO_3 nos momentos de altas emissões também foi reportado por Perdomo et al. (2009) e pode estar associada a que as mesmas sempre ocorreram depois de chuvas importantes, o que também favoreceria as perdas de N por lixiviação. Por sua vez, uma possível explicação à existência de picos de emissão ainda com diminuição na disponibilidade de NO_3 em superfície, pode estar dada pela produção de N_2O em camadas mais profundas que 10 cm. Tem sido reportado que baixo uma condição de alto conteúdo de umidade diminui a taxa de difusão do N_2O , assim, o gás produzido no subsolo precisa de um maior período de tempo para atingir a superfície (Clough et al., 2005). Clough et al. (1999), trabalhando com N

marcado, reportaram um atraso de 11 dias para que o N_2O produzido a 80cm de profundidade atingira a superfície do solo.

A resposta da emissão de N_2O à disponibilidade de NO_3 na data de coleta de ar anterior variou dependendo do sistema de rotação (Figura 8 e Tabela 4). Os sistemas CCPC e CCPDC4 foram os que mais emitiram por unidade de NO_3 disponível no solo. Todos os modelos foram significativos, porém tiveram baixo coeficiente de determinação (entre 0,18 e 0,41), explicando uma baixa percentagem da variação das emissões de N_2O (Tabela 3). Este tipo de relações são frequentemente apresentadas nos estudos de N_2O e decorrem da alta variabilidade das emissões, que são afetadas por mais de uma variável de cada vez (Kessavalou et al., 1998; Escobar 2011).

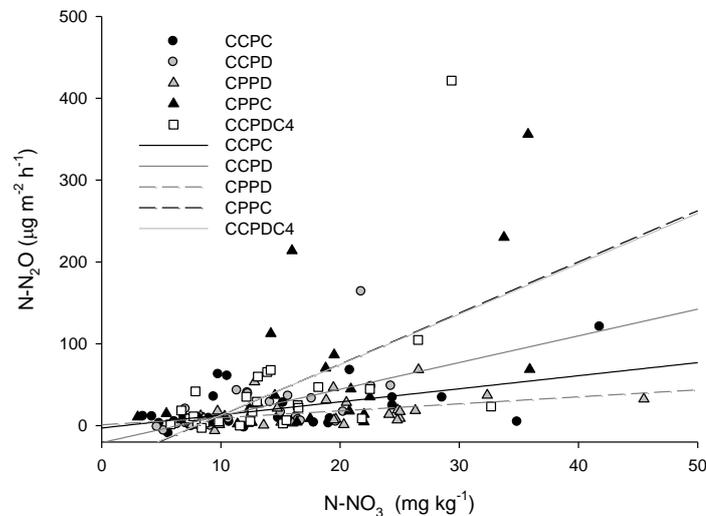


Figura 8 – Relação entre a emissão do N_2O e a disponibilidade de NO_3 na data anterior da coleta de gás para cada sistema de rotação (período 2011-2012).

Nota: CCPC: cultura contínua sob preparo convencional, CCPD: cultura contínua sob plantio direto, CPPD: cultura-pastagem sob plantio direto, CPPC: cultura-pastagem sob preparo convencional, CCPDC4: cultura contínua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

Tabela 4 – Equações lineares da relação entre a emissão do N₂O e a disponibilidade de NO₃ na data anterior da coleta de gás, coeficientes de regressão e significância das regressões, para cada sistema de rotação. Período 2011-2012.

Rotação	Equação	R ²	Prob.
CCPC	N ₂ O= -2,8857 + 1,5974 (N-NO ₃)	0,29	0,0030
CPPC	N ₂ O= -50,0561 + 6,2525 (N-NO ₃)	0,41	0,0003
CCPD	N ₂ O= -20,7618 + 3,2619 (N-NO ₃)	0,32	0,0016
CPPD	N ₂ O= 1,0541 + 0,8538 (N-NO ₃)	0,18	0,0265
CCPD-C4	N ₂ O= -48,7710 + 6,1623 (N-NO ₃)	0,29	0,0031

Como já mencionado, as emissões de N₂O não foram relacionadas com os teores de NH₄ no solo. Em todos os casos as mesmas ocorreram quando os teores de NH₄ estiveram abaixo de 15 mg N kg⁻¹ solo. Também não se encontrou resposta quando se relacionaram as emissões com a disponibilidade de NH₄ da data anterior à coleta de ar (dados não apresentados). O conteúdo de NH₄ não foi muito variável no tempo, e na maioria das datas de coleta manteve-se próximo ao seu valor médio de 11 mg N kg⁻¹ e, só em cinco datas teve um valor superior aos 20 mg N kg⁻¹ (Figura 4d). O mesmo comportamento do NH₄ com o decorrer do tempo foi reportado por Perdomo et al. (2009) na avaliação feita no ano 2003-2004.

A PPA apresentou uma relação exponencial com a emissão de N₂O, que variou dependendo do sistema de rotação (Figura 9 e Tabela 5).

No primeiro ano de avaliação, os sistemas sob PC tiveram um comportamento mais similar entre eles, com aumento acentuado das emissões de N₂O a partir de 45-50% da PPA (Figura 9a). No caso dos sistemas sob PD o aumento das emissões aconteceu a partir de uma PPA de 60%. Já no segundo ano, houve menor variação entre tratamentos e em todos os casos as emissões aumentaram a partir de 60 % da PPA (Figura 9b).

Dado que PPA maiores que 60% são indicadas como mais favoráveis para os processos de desnitrificação (Linn et al., 1984), é muito provável que este processo tenha sido mais importante na produção de N₂O que o processo de nitrificação. Porém, chamou a atenção que no primeiro ano de avaliação, nos sistemas sob PC, as emissões começaram a partir de PPA menores que 60%.

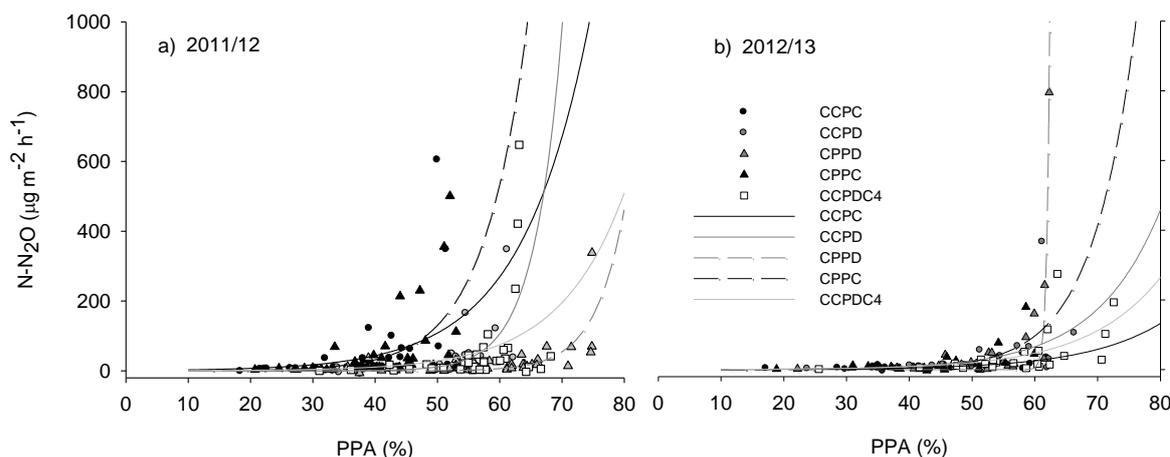


Figura 9– Relação entre a emissão do N_2O e a Porosidade Preenchida por Água (PPA) para cada sistema de rotação. a) Primeiro ano de avaliação (2011/12), b) Segundo ano de avaliação (2012/13).

Nota: CCPC: cultura contínua sob preparo convencional, CCPD: cultura contínua sob plantio direto, CPPD: cultura-pastagem sob plantio direto, CPPC: cultura-pastagem sob preparo convencional, CCPDC4: cultura contínua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

Tabela 5 – Equações exponenciais da relação entre a emissão do N_2O e a Porosidade Preenchida por Água (PPA), coeficientes de regressão e significância das regressões para cada sistema de rotação e os dois anos avaliados.

Rotação	Equação	R^2	Prob.
Período 2011-2012			
CCPC	$N_2O = \exp^{(0,0911(PPA - (-1,423)))}$	0,16	0,0128
CCPD	$N_2O = \exp^{(0,2223(PPA - 39,0308))}$	0,37	0,0001
CPPD	$N_2O = \exp^{(0,2135(PPA - 51,2714))}$	0,48	0,0001
CPPC	$N_2O = \exp^{(0,1409(PPA - 15,4786))}$	0,29	0,0005
CCPD-C4	$N_2O = \exp^{(0,0960(PPA - 15,0593))}$	0,11	0,0415
Período 2012-2013			
CCPC	$N_2O = \exp^{(0,0824(PPA - 20,6879))}$	0,49	0,0002
CCPD	$N_2O = \exp^{(0,0970(PPA - 16,8116))}$	0,19	0,0356
CPPD	$N_2O = \exp^{(2,1468(PPA - 59,1700))}$	0,91	<0,0001
CPPC	$N_2O = \exp^{(0,1450(PPA - 28,4776))}$	0,45	0,0005
CCPD-C4	$N_2O = \exp^{(0,0860(PPA - 15,1562))}$	0,32	0,0049

Nota: CCPC: cultura continua sob preparo convencional, CCPD: cultura continua sob plantio direto, CPPD: cultura-pastagem sob plantio direto, CPPC: cultura-pastagem sob preparo convencional, CCPDC4: cultura continua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

Utilizando-se um valor médio de capacidade de campo de uma avaliação anterior, observou-se que a mesma equivaleu a uma PPA entre 55-

66% no primeiro ano e entre 56-62% no segundo ano (segundo o tratamento), sendo que os menores valores se correspondem com os sistemas sob PC. Estes valores aproximam-se a esses em que as emissões aumentaram acentuadamente (Figura 9 a e b), sugerindo que em todos os tratamentos as mesmas teriam começado quando os microporos estiveram completamente preenchidos por água.

Existiram outras condições que indicaram ao processo de desnitrificação como predominante na produção de N_2O . Nesse sentido, os maiores picos de emissão ocorreram quando as chuvas coincidiram com altas disponibilidades de nitrato, condições mais favoráveis para o processo de desnitrificação (Robertson et al., 2007). Por outro lado, no primeiro ano de avaliação, dos oito dias que ocorreram emissões maiores que $100 \mu\text{g}$ de $N-N_2O \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, seis tiveram um acumulado de chuva, nos cinco dias anteriores, maior que 65 mm. Somente em dois dos dias, o acumulado de chuva tinha sido quase nulo, embora em um deles aproximadamente 80 mm caíram nos sete dias prévios. Algo similar ocorreu no segundo ano, onde dos cinco dias com registros de emissões maiores que $100 \mu\text{g}$ de $N-N_2O \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, três tiveram chuvas maiores que 65 mm. Os outros dois dias as emissões foram muito próximas de $100 \mu\text{g}$ de $N-N_2O \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e ocorreram só no sistema CCPD-C4 que apresentava elevados valores de PPA (dia 1 e 319 de coleta- Figura 5a).

Os resultados obtidos vão de encontro com os de Laville et al. (2011), que depois de dois anos de medições de fluxos de N_2O concluíram que as altas emissões estavam relacionadas com o processo de desnitrificação, ocorrendo em períodos com altas PPA e altos teores de NO_3 no solo.

Quanto à relação do N_2O com a temperatura do solo, não foi encontrada uma função de resposta com ajuste adequado (Figura 10a). Porém, nos dois anos avaliados o comportamento encontrado foi muito similar. Temperaturas entre 4 e 10°C foram suficientes para que acontecessem emissões de N_2O maiores que $100 \mu\text{g} \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, porém às maiores emissões ocorreram entre 10 e 20°C . Acima desta temperatura as emissões foram quase inexistentes (Figura 10a), embora outros estudos tenham reportado uma relação linear da produção de N_2O com a temperatura até 25°C (Kessavalou et al., 1998).

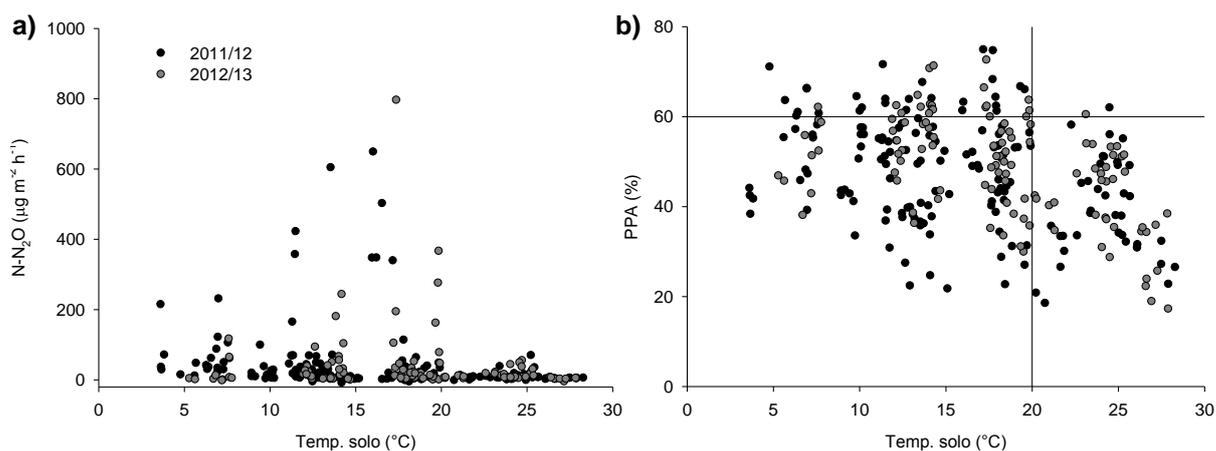


Figura 10 - a) Relação das emissões de N₂O com a temperatura do solo para os dois anos avaliados. b) Relação entre a PPA e a temperatura do solo para os dois anos avaliados.

Nos dois anos avaliados foi encontrada uma relação inversa entre a PPA e a temperatura do solo. Assim, a falta de emissão de N₂O com temperaturas maiores que 20°C (período primavero-estival) poderia ser explicado porque acima dessas temperaturas o solo quase não teve momentos com PPA maior que 60%, o que não teria favorecido os processos de perda por desnitrificação (Figura 10b). Neste caso, a PPA estaria-se comportando como o fator limitante para a produção de N₂O.

Embora nos dois anos de avaliação foram encontradas variáveis que explicaram o comportamento geral das emissões, as mesmas não foram tão claras em explicar a maior emissão de um tratamento em relação a outro em determinada data ou nos acumulados anuais. É possível que isto seja consequência da existência de interação entre as variáveis no processo de produção do N₂O, além da existência de outras variáveis que poderiam estar influenciando neste processo e que não foram avaliadas neste estudo.

5.4.3 Fluxos de metano e variáveis controladoras

Durante o período avaliado o solo teve momentos nos quais se comportou como dreno e outros como fonte de CH₄ (Figura 11 a e b). Porém, os valores médios para o primeiro e o segundo ano de avaliação foram de -9,9 e -4,7 μg de C-CH₄ m⁻² h⁻¹ respectivamente, na média de todos os tratamentos

(Tabela 6). Dado que as condições anaeróbicas favorecem o processo da metanogênese (Topp et al., 1997), é possível que a menor oxidação de CH₄ no segundo ano, seja consequência do maior volume de chuva registrado nesse período. Isto é coincidente com a maior emissão média de N₂O achada durante esse período.

Tabela 6 - Fluxos médios, mínimos, máximos e acumulados anuais de CH₄, segundo sistema de rotação e ano de avaliação.

	CCPC	CCPD	CPPD	CPPC	CCPD-C4
. µg C-CH ₄ m ⁻² h ⁻¹					
2011-2012					
Média ⁽¹⁾	-8,2	-9,7	-10,8	-11,5	-9,3
Mínimo	-49,0	-68,9	-57,1	-61,9	-42,5
Máximo	71,3	60,0	30,9	15,8	29,1
Acumulado anual (kg C-CH ₄ ha ⁻¹)	-0,68 a ⁽²⁾	-0,82 a	-0,90 a	-0,96 a	-0,78 a
2012-2013					
Média	-1,3	-6,2	1,8	-12,9	-5,0
Mínimo	-31,6	-42,6	-29,7	-37,2	-31,5
Máximo	47,8	45,8	55,3	16,0	26,8
Acumulado anual (kg C-CH ₄ ha ⁻¹)	-0,10 a	-0,50 a	0,15 a	-1,04 a	-0,41 a
Média período 2011-2013					
Acumulado anual (kg C-CH ₄ ha ⁻¹)	-0,39 a	-0,66 a	-0,38 a	-1,00 a	-0,60 a

⁽¹⁾ Média calculada dividendo a emissão acumulada pelo total de dias avaliados.

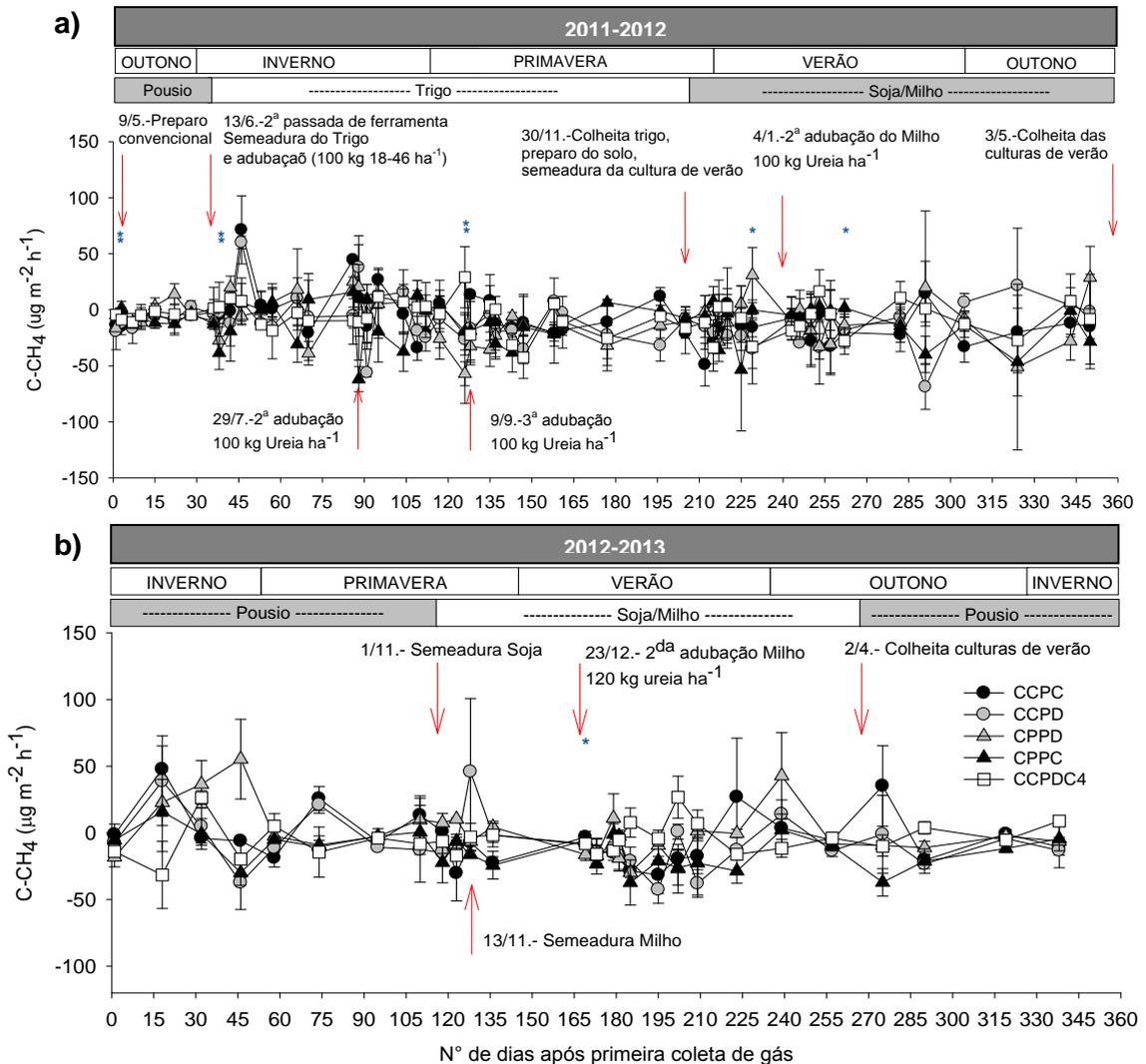
⁽²⁾ Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre sistemas de manejo (P<0,1).

Nota: CCPC: cultura contínua sob preparo convencional, CCPD: cultura contínua sob plantio direto, CPPD: cultura-pastagem sob plantio direto, CPPC: cultura-pastagem sob preparo convencional, CCPDC4: cultura contínua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

O valor máximo de emissão registrado durante o período avaliado foi de 71,3 µg de C-CH₄ m⁻² h⁻¹, sendo que o máximo de absorção foi de -68,9 µg de C-CH₄ m⁻² h⁻¹. Este intervalo de variação foi similar ao reportado por Bayer et al. (2012) para o sul do Brasil, e também por Priemé et al. (1999) em uma revisão de 63 estudos em solos tropicais sob diferentes usos. Porém, foram menores aos encontrados no norte da Europa, onde as taxas de oxidação atingiram valores de -150 µg de C-CH₄ m⁻² h⁻¹ (Smith et al., 2000).

Nos dois anos de avaliação, foram poucas as datas nas quais se encontraram diferenças significativas entre tratamentos (Figura 11 a e b). Por sua vez, os diferentes sistemas de rotações e preparos de solo no diferiram nos acumulados anuais (P<0,10) em nenhum dos anos avaliados (Tabela 6).

Assim, contrariamente ao reportado por Hutsch (2001), depois de 18 anos de PD, o mesmo não apresentou vantagens na oxidação de CH_4 em relação ao PC.



A maioria dos sistemas de manejo comportou-se como dreno de CH_4 , com uma oxidação anual no intervalo de $-0,68$ a $-0,96$ kg de $\text{C-CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para o primeiro ano e de $-0,10$ a $-1,04$ kg de $\text{C-CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para o segundo ano de avaliação. Apenas o sistema CPPD, no segundo ano de avaliação, teve uma emissão líquida anual de $0,15$ kg de $\text{C-CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Tabela 6). Como já mencionado, este também foi o tratamento que teve maior emissão anual de N_2O .

Do total de CH_4 consumido no primeiro ano de avaliação, aproximadamente 50% foi oxidado durante a cultura de inverno e 50% durante a cultura de verão. Houve apenas exceção do tratamento CCPC onde 83% do CH_4 foi oxidado durante a cultura de verão. Já no segundo ano, os sistemas CCPC e CPPD tiveram emissão líquida no período de pousio e oxidação no período das culturas de verão. Entanto os outros sistemas tiveram oxidação líquida durante os dois períodos, sendo que entre 46 e 62% do metano foi oxidado durante o período das culturas de verão.

A pesar de outros estudos terem encontrado uma relação inversa entre a oxidação de CH_4 e a PPA (Veldkamp et al., 2001, Werner et al., 2006) ou o NH_4 (Goulding et al., 1996, Hutsch, 2001; Veldkamp, 2001), estas não foram verificadas para nenhum dos dois anos estudados.

Apenas para o caso dos sistemas sob PC, encontrou-se uma relação linear negativa entre as emissões de CH_4 e a temperatura do solo, porém com baixo coeficiente de determinação (Figura 12a). Este comportamento repetiu-se nos dois anos avaliados.

Outros autores tem reportado uma relação positiva entre a oxidação de CH_4 e a temperatura do solo, porém a mesma seria de menor magnitude que para o processo de produção (Dunfield et al., 1993; Topp et al., 1997). Por sua vez, a relação da oxidação de CH_4 com a temperatura foi mencionada como de menor importância que aquela existente com o conteúdo de água (Smith et al., 2000; Werner et al., 2006).

É possível que o efeito da temperatura sobre a oxidação de CH_4 , nos sistemas sob PC, tenha-se potenciado pelo menor conteúdo de água do solo nestes sistemas, em relação com os sistemas sob PD (Figuras 4e, 5c e 13b). Nas figuras 4e e 5c, pode-se observar que aproximadamente a mediados da primavera e durante o verão, a temperatura atingiu valores acima dos 20°C na maioria das datas de coleta. As altas temperaturas, que aumentam a evapotranspiração, foram responsáveis em parte pelas maiores variações no conteúdo de água em todos os sistemas de rotações (Figura 4b e 5b). No entanto, nos sistemas sob PC, a PPA geralmente oscilou entre 25 e 50% (Figuras 4e, 5c e 12b), sendo que condições de umidade próximas a 45% são indicadas como ótimas para os processos de oxidação de CH_4 (Khalil et al., 2005). Durante esse período (com temperaturas acima de 20°C) os fluxos de

CH₄ dos sistemas sobre PC ficaram próximos de zero ou menores (Figura 11a, 11b e 12a).

No caso dos sistemas sob PD a PPA variou entre valores maiores (Figura 4b e 12b), sendo que os fluxos de CH₄ continuaram apresentando flutuações de emissões e oxidações líquidas de CH₄ (Figura 11 a e b).

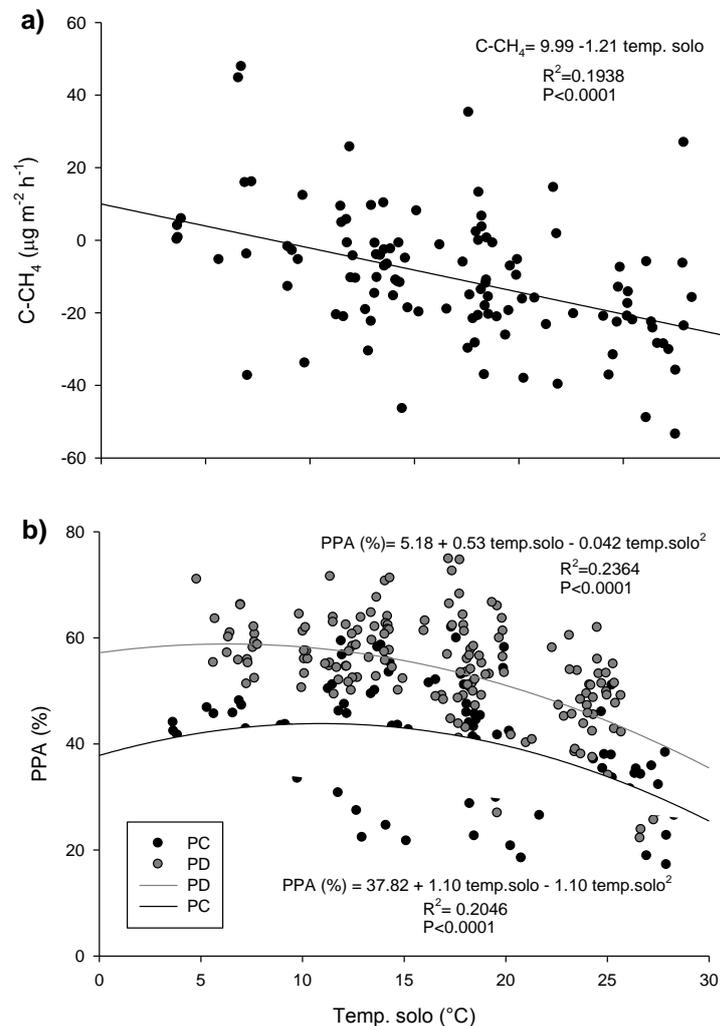


Figura 12 – a) Relação entre o fluxo de C-CH₄ e a temperatura do solo nas rotações sob preparo convencional, para todo o período avaliado; b) relação entre a porosidade preenchida por água e a temperatura do solo, segundo sistema de preparo do solo e para todo o período avaliado.

A falta de relação clara entre os fluxos de CH₄ e as outras variáveis vai de encontro com os resultados de outros trabalhos (Alluvione et al. 2009; Escobar, 2011). Os fluxos de metano medidos surgem do balanço entre a produção e a oxidação de CH₄. O primeiro processo é realizado pelos organismos metanogênicos em condições anaeróbicas e o segundo pelos

organismos metanotróficos em condições aeróbicas (Topp et al., 1997). Estes dois processos ocorrem de maneira simultânea no solo, embora em diferentes microsítios, e por diferentes grupos de microorganismos (Goulding et al., 1996; Dalal et al. 2008), o que pode dificultar a obtenção de respostas claras.

5.5 CONCLUSÕES

Os diferentes manejos do solo não afetaram significativamente as emissões anuais de N_2O , nem a oxidação anual de CH_4 , mesmo em dois anos com chuva bastante acima da média anual. Por outro lado, não foi observado um efeito residual das pastagens na emissão de N_2O em relação às sequências de culturas contínuas, nem um efeito diferencial dos sistemas de preparo do solo.

As emissões de N_2O estiveram relacionadas fundamentalmente com a porosidade preenchida por água e a disponibilidade de NO_3 no solo, indicando à desnitrificação como o processo predominante na produção de N_2O . As emissões concentraram-se no período das culturas de inverno, onde o solo permanece a maior parte do tempo com um alto conteúdo de umidade. Neste contexto, um manejo eficiente da adubação nitrogenada é de grande importância na mitigação das emissões de N_2O , fundamentalmente no período outono-inverno.

No caso do CH_4 , os fluxos não foram claramente explicados por nenhuma das variáveis avaliadas. Da mesma forma, não foi observada uma sazonalidade tão clara como para o N_2O , embora em certos casos a oxidação foi reduzida no inverno, possivelmente pelo alto conteúdo de umidade no solo.

6. ESTUDO II

Balanço de gases de efeito estufa em sistemas de rotação de culturas contínuas e culturas-pastagens sob preparo convencional e plantio direto

6.1 RESUMO

A agricultura é uma importante fonte de emissão de gases de efeito estufa (GEE), mas também apresenta grande capacidade de mitigar o potencial de aquecimento global (PAG), através da captura de CO₂ no COS e de reduzir as emissões através do uso de práticas de manejo mais eficientes. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de 18 anos de rotações de culturas contínuas e culturas-pastagens sob PC e PD, sobre as emissões anuais de CO₂, N₂O e CH₄, e a sua capacidade para mitigar o PAG. Foram avaliados, uma sequência de culturas contínuas (trigo-soja) (CC) e uma sequência de cultura-pastagem (três anos trigo-soja e três anos de pastagem perene) (CP), ambas sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), sendo que dentro do sistema de PD avaliou-se também uma sequência de trigo-milho (CCPDC4). O N₂O e o CH₄ do solo foram avaliados durante dois anos, utilizando a metodologia de câmaras estáticas e sendo posteriormente analisados por cromatografia gasosa. No caso do CO₂, este foi avaliado através da variação dos estoques de COS dos primeiros 18cm do solo, entre os anos 2003 e 2011. Na média dos dois anos, os sistemas não se diferenciaram quanto as emissões de N₂O e de CH₄, estando as mesmas entre 1,89 e 3,98 kg N-N₂O ha⁻¹ ano⁻¹ e entre -1,00 e -0,39 kg de C-CH₄ ha⁻¹, respectivamente. O CCPC foi o único sistema que teve perda de COS, liberando CO₂ para a atmosfera. Este sistema apresentou o maior PAG (581 kg C equivalente ha⁻¹ ano⁻¹) por unidade de área e também por unidade de energia bruta produzida (47,9 kg C equivalente Gcal⁻¹). Neste sentido, esse sistema com culturas contínuas em preparo convencional emitiu quase duas vezes mais GEE por unidade de energia bruta produzida que os sistemas em rotação com pastagens e quase três vezes mais que os sistemas de agricultura contínua sob PD, que foram os mais eficientes. Assim, os sistemas de manejo de solo considerados conservacionistas, desde o ponto de vista de manter ou aumentar os níveis de COS também foram capazes de mitigar o PAG respeito a sistemas de agricultura contínua sob PC.

6.2 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, há grande preocupação com o rápido aumento nas concentrações atmosféricas de GEE de origem antropogênica, principalmente CO₂, CH₄ e N₂O. Este fenômeno tem sido apontado como a principal causa do aquecimento global (IPCC, 2007). Por sua vez, o aumento de N₂O também contribui com a perda de ozônio, com prejuízos para a saúde humana (Ravinshakara et al., 2009).

Em nível global, estima-se que 31% das emissões totais vem da agricultura e a silvicultura, incluindo o desmatamento (IPCC, 2007). No entanto no Uruguai, um país tipicamente agropecuario, as estimativas para 2004 indicaram que 81% das emissões de CO₂ equivalente foram aportadas pela agricultura. A mesma teria sido responsável pela emissão de 93% e 99% de CH₄ e N₂O emitido no país, respectivamente (Uruguay, 2010).

Embora a agricultura seja uma importante fonte de GEE, ela também tem grande capacidade de reduzi-los através de: i) aumentar as remoções de GEE da atmosfera, principalmente através do aumento do estoque de carbono do solo, e ii) reduzir as emissões, utilizando práticas de manejo mais eficientes (Smith et al., 2008).

O efeito líquido dos diferentes sistemas de produção, em relação com o total de emissões de GEE e do aquecimento global, dependerá não só da captura de carbono que o solo possa realizar, mas também do fluxo dos outros GEE (Robertson et al. 2000). Apesar do N₂O e CH₄ ser emitidos em menores quantidades do que o CO₂, estes tem um potencial de aquecimento global 298 e 25 vezes maior que o CO₂, respectivamente (IPCC, 2007). Assim, as emissões de N₂O tem grande influência no PAG dos sistemas agrícolas (Mosier et al., 2006). No entanto, poucos estudos têm investigado os três GEE de forma conjunta e por longos períodos de tempo (Snyder et al., 2009).

Historicamente no Uruguai tem-se utilizado sistemas de rotações de culturas e pastagens perenes, porém na última década os sistemas tem-se intensificado, passando em muitos casos a sistemas de agricultura contínua. Por outro lado, desde a década dos 90, houve uma substituição do preparo convencional (PC) pelo plantio direto (PD). Estudos sobre o efeito destes sistemas no COS tem sido frequentes no país (Morón 2003; Baethgen, 2003;

Terra et al., 2006; Salvo et al., 2010), mas pouco se sabe sobre os outros GEE. Neste sentido, no Uruguai existe um unico trabalho publicado sobre as emissões de N_2O em um solo agrícola (Perdomo et al., 2009).

Diferentes trabalhos apontam a que o uso do PD, sequências complexas com grande aporte de C ao solo, inclusão de pastagens perenes e um fornecimento adequado de nutrientes, seriam práticas recomendadas para aumentar os estoques de COS e compensar as emissões de GEE. No entanto, o efeito destas práticas sobre os fluxos de N_2O e CH_4 nem sempre vão na direção desejada de reduzir as emissões, de modo que tais práticas somente resultarão em uma verdadeira mitigação se forem capazes de reduzir o PAG (Six et al., 2004).

Embora alguns estudos têm relatado maiores emissões de N_2O sob PD, geralmente este sistema acaba apresentando um balanço de GEE mais favorável, ou seja, menor PAG que o PC. Isto é devido a um maior acúmulo de COS sob PD e, em menor medida, pela menor emissão ou maior absorção de CH_4 , o que geralmente compensa as maiores emissões de N_2O (Snyder et al., 2009). Por outro lado, Six et al. (2004) analisando dados de campo disponíveis, encontraram que em climas úmidos, o PAG do PD foi menor ao PC só depois de 10 anos da adoção do sistema.

Em estudos de vários anos no Sul do Brasil, foi verificado um balanço de GEE favorável ao sistema de PD, em relação ao PC. Por sua vez, neste sistema conservacionista de manejo do solo, verificaram-se benefícios no balanço de GEE, quando leguminosas de cobertura do solo foram incluídas na rotação. Este efeito foi consequência do maior acúmulo de C no solo e menor emissão de N_2O em relação ao uso de adubação mineral nitrogenada (Bayer, 2012).

As práticas de manejo e as quantidades e tipos de insumos utilizados, varia muito entre os diferentes sistemas produtivos, sendo por sua vez, determinantes do seus PAG. Assim, sistemas agrícolas mais intensivos, que emitiram mais GEE por unidade de área, também produziram varia vezes mais alimento em termos de calorias (Snyder et al., 2009). É por isso que Mosier et al. (2006) sugerem que uma forma de relacionar as práticas agrícolas com o PAG é através do cálculo da intensidade da emissão de GEE (IGEE). Este termo relaciona o PAG com as quantidades produzidas no sistema, indicando

a eficiência do mesmo. Um uso eficiente da terra permite produzir mais em menor quantidade de área, o que poderia diminuir a entrada de novas terras à produção agrícola, mitigando assim as emissões de GEE (Snyder et al., 2009; Burney et al., 2010). Neste sentido, pouco é o que se conhece sobre os efeitos dos sistemas de preparo e rotações de culturas na IGEE (Mosier et al., 2006).

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de rotações de culturas contínuas e culturas-pastagens sob PC e PD, realizadas durante 18 anos, sobre as emissões anuais dos principais GEE (CO_2 , N_2O e CH_4), e a sua capacidade para mitigar o Potencial de Aquecimento Global (PAG).

6.3 MATERIAIS E MÉTODOS

6.3.1 Características do experimento e tratamentos avaliados

Foi utilizado o mesmo experimento e avaliaram-se os mesmos tratamentos que no Estudo I. A descrição detalhada dos mesmos se encontra no item 5.3.1.

6.3.2 Amostragem e análise de gases

A metodologia para amostragem e análise dos gases utilizada neste estudo, é a mesma que se encontra descrita no capítulo I, item 5.3.2.

Os acumulados anuais de N_2O e CH_4 foram obtidos pela integração da área sob a curva dos fluxos diários. No caso da emissão ou absorção anual de C- CO_2 , a mesma foi calculada como a diferença nos estoques de COS dos primeiros 18 cm, entre os anos 2003-2011.

6.3.3 Amostragem e acondicionamento das amostras de solo

Em abril de 2011 foi realizada uma amostragem de solo para avaliação do estoque de COS. Nessa data as culturas de verão do sistema com agricultura contínua estavam para colher e a fase de pastagens das rotações de culturas-pastagens tinha finalizado.

A amostragem foi feita com trado calador às profundidades de 0-3, 3-6, 6-12, 12-18 cm de solo. As mesmas profundidades tinham sido amostradas no ano 2003. As amostras das primeiras quatro profundidades estiveram compostas de 20 subamostras por unidade experimental, enquanto que as seguintes estiveram compostas de 8 subamostras. Em condição úmida, as amostras foram desagregadas e passadas pela peneira de malha de 2 mm, sendo posteriormente secas em estufa a 40 °C. Nestas amostras foram feitas análises de carbono orgânico por combustão seca, em analisador de C modelo Shimadzu-TOC.

Para as profundidades de 0 a 3 e 3 a 6 cm, foram coletadas amostras com estrutura indeformadas para a determinação da densidade do solo, necessária para o cálculo do estoque de COS. Três amostras por unidade experimental foram coletadas utilizando anéis cilíndricos de três cm de altura por 5,4 cm de diâmetro. As amostras foram saturadas com água e aquelas que sofreram expansão foram cortadas e levadas novamente ao volume do cilindro. Subsequentemente as amostras foram secas em estufa a 105 °C por 48 horas. Para as camadas de solo mais profundas optou-se por utilizar os dados obtidos no ano 2003. Nesse ano, utilizando a mesma metodologia, foram coletadas amostras de todas as camadas consideradas entre e 0 e 18 cm em todos os sistemas de rotações.

Todos os estoques de COS foram corrigidos pela massa equivalente, segundo Ellert & Bettany (1995), usando como referência a massa de solo dos primeiros 18 cm do sistema CCPC do ano 2011 (2153 Mg solo ha⁻¹).

6.3.4 Potencial de Aquecimento Global e Intensidade da emissão de GEE

Para o cálculo do potencial de aquecimento global (PAG) as emissões de N₂O e CH₄ foram convertidas para quantidades equivalentes de C-CO₂, considerando seus respectivos PAGs. Assim, considerou-se que o N₂O e o CH₄ tem um poder de aquecimento 298 e 25 vezes maior que uma molécula de CO₂, respectivamente (IPCC, 2007). A equação utilizada foi a seguinte:

$$\text{PAG (kg C-CO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{ano}^{-1}) = (\Delta\text{C}_{\text{solo}}) + (\text{N}_2\text{O} \times 81,27) + (\text{CH}_4 \times 6,82) + \text{custosC-CO}_2,$$

os fatores de conversão de 81,27 [298/(44/12)] para N₂O e 6,82 [25/(44/12)] para CH₄, correspondem à conversão das emissões anuais dos respectivos gases para quantidades anuais equivalentes de C. No cálculo do PAG também foram considerados os custos dos insumos utilizados e atividades agrícolas realizadas em cada sistema de manejo, expressos em quantidade equivalente de C-CO₂ (Lal, 2004).

Posteriormente, foi calculada a intensidade da emissão de GEE (IGEE), como a relação entre o PAG e a quantidade produzida por cada sistema. Como o tipo de produto dependeu do sistema considerado, optou-se por passar tudo a energia bruta (EB) produzida, calculando assim a IGEE por unidade de EB produzida.

Como neste estudo não foi avaliada a fase de pastagens dos sistemas CPPC e CPPD, as emissões de N₂O e CH₄ durante a mesma foram estimadas da seguinte maneira:

- N₂O e CH₄ do solo: foram utilizados os registros levantados durante o ano 2012-2013, de um experimento adjacente ao do presente estudo e com o mesmo tipo de solo e de pastagem. Nesse experimento as rotações estão desfasadas no tempo (cada ano da rotação em uma parcela), permitindo assim determinar as emissões dos diferentes anos das pastagens. Porém, o único sistema de preparo do solo utilizado nesse experimento foi o PD. Assim, tanto para a rotação CPPC como para a CPPD utilizaram-se os mesmos valores anuais de N₂O e CH₄.
- N₂O dos dejetos: similar ao procedimento adotado por Piva et al., (2013), as emissões de N₂O dos dejetos foram estimadas considerando que 84,2% do N ingerido pelas vacas foi excretado (Haynes et al., 1993) e que 0,2% do N excretado foi emitido como N₂O (Perdomo et al., 2012; Sordi et al., 2013). Preferiu-se usar este fator de emissão no lugar do 2% proposto pelo IPCC (2006), porque pareceria ser um valor mais característico da região. O N consumido foi calculado considerando a produção média anual (10 anos) das pastagens do experimento de rotações desfasadas no tempo (5382 kg MS ha⁻¹ ano⁻¹), a concentração de N das mesmas (39,2 gN kg⁻¹) e a utilização média do período, estimada em 60%.

- CH₄ entérico: foi estimado utilizando um valor de 22,2 gCH₄ kg⁻¹MS obtido de um estudo realizado no Uruguai com vacas Holandesas em produção (Dini, 2012). Segundo a revisão realizada por Dini (2012), este valor se encontra no intervalo reportado por outros estudos para pastagens de clima temperado.
- IGEE: para a fase de pastagens estimou-se a produção de leite e, posteriormente, a EB da mesma. Para isto estimou-se uma carga animal anual de 0,5 vacas ha⁻¹ ano⁻¹, calculada em função da quantidade de MS utilizável e considerando vacas de 600 kg com um consumo de 3% do peso vivo (Leborgne, 1983). Por sua vez, em função do reportado por FUCREA (2013), considerou-se uma produção diária de leite de 15 l vaca⁻¹. Este dado surge de uma análise de sítios leiteiros feita no Uruguai para o ano 2012-2013, nos que a base alimentícia era pastagens perenes de gramíneas-leguminosas, e gramíneas anuais. Por sua vez, a EB do leite foi calculada segundo a fórmula do NRC (2001), que tem em consideração as porcentagens de proteína, gordura e lactose. Assim, foram utilizados os valores médios da composição do leite ingressado em planta do ano 2012 do anuário estatístico agropecuário de DIEA.

6.3.5 Análise estatística

As emissões anuais de N₂O, CH₄ dos sistemas avaliados foram submetidas à análise da variância e a diferença entre médias foi avaliada pelo teste de Tukey ao nível de 10%. Para os estoques de COS, realizou-se o mesmo procedimento, só que a diferença entre médias foi avaliada pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.4.1 Condições climáticas do período

Os dois anos avaliados tiveram precipitações acima do registrado na série histórica (1218 mm), sendo 44% e 67% maiores para o ano 2011/12 e 2012/13, respectivamente. Por outro lado, as temperaturas médias foram

0,2°C a mais e 0,1°C abaixo que a série histórica (17,9 °C), para o primeiro e segundo ano de avaliação, respectivamente.

6.4.2 Emissões anuais de óxido nitroso

No primeiro ano, as emissões anuais estiveram entre 2,13 e 3,88 kg N-N₂O ha⁻¹ ano⁻¹, correspondendo esses valores aos sistemas CPPD e CPPC respectivamente (Figura 13). Os sistemas de rotações não se diferenciaram significativamente ($p < 0,10$) nas emissões anuais de N₂O. Ainda assim, as magnitudes das emissões nas sequências sob PC foram em média 53 % maiores de aquelas encontradas nas mesmas sequências sob PD (excluindo o sistema CCPDC₄).

Contrariamente ao reportado por Snyder et al. (2009), a passagem da fase de pastagem para a fase de culturas não gerou maiores emissões de N₂O que aqueles sistemas que vinham com culturas contínuas. É possível que a composição das pastagens no momento de realizar os preparos tenha influenciado nesse resultado, pois foi observada uma predominância das espécies gramíneas sobre as leguminosas (não quantificado).

No segundo ano, as emissões anuais estiveram entre 1,03 e 5,83 kg N-N₂O ha⁻¹ ano⁻¹, correspondendo esses valores aos sistemas CCPC e CPPD respectivamente (Figura 13). Este último sistema diferenciou-se dos sistemas sob PC, entanto que os sistemas CCPDC₄ e CCPD tiveram um comportamento intermediário entre os mesmos ($p < 0,10$). O comportamento dos preparos nas emissões de N₂O foi totalmente inverso ao encontrado no primeiro ano avaliado. Assim, as magnitudes das emissões nas sequências sob PC foram em média 67,3% menores de aquelas encontradas nas mesmas sequências sob PD. Por outro lado, as sequências que tiveram ciclos de pastagem emitiram em média 45% mais N₂O que as sequências de culturas contínuas.

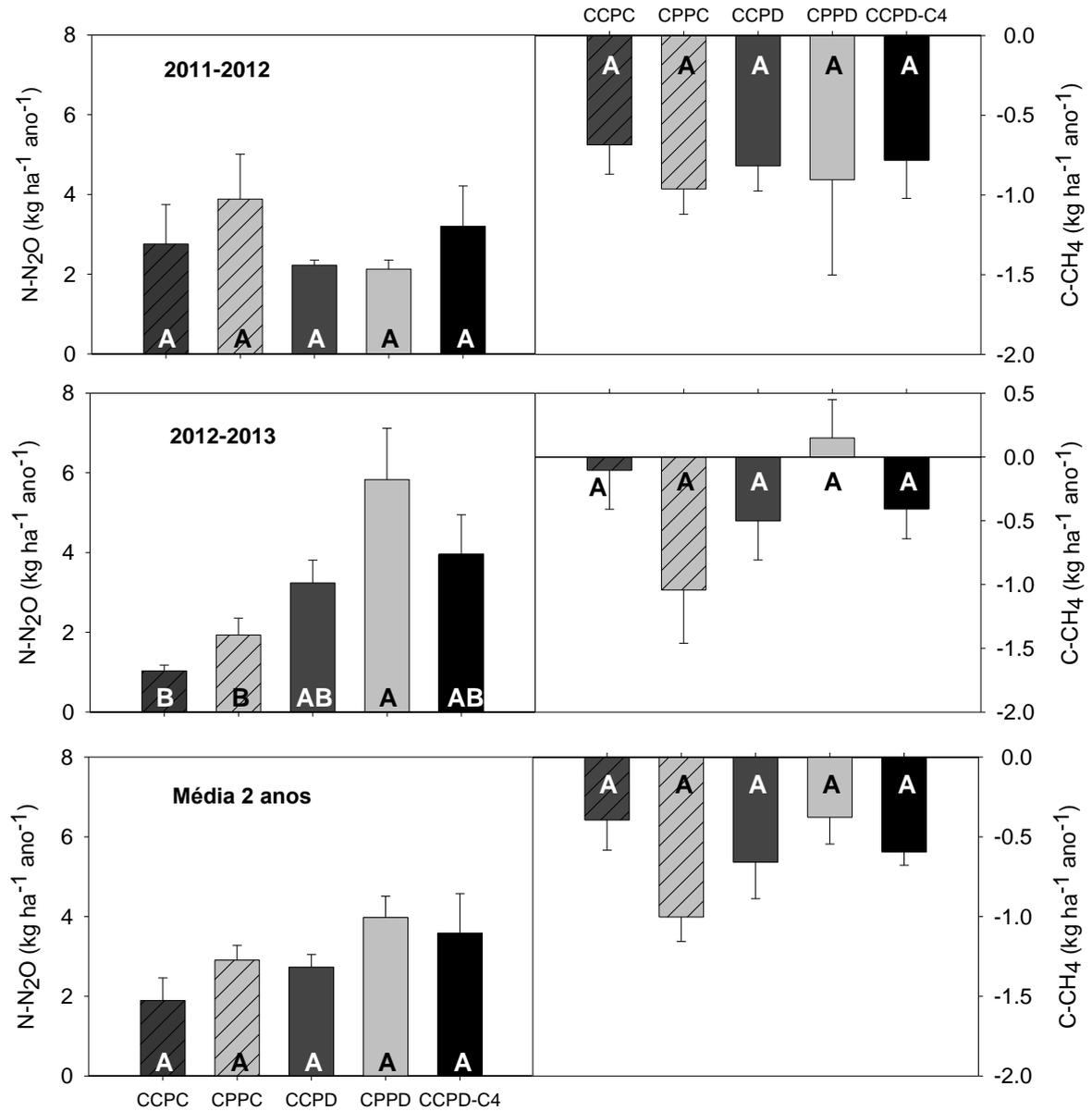


Figura 13 – Emissões acumuladas de N₂O e CH₄ para os anos 2011-2012, 2012-2013 e para a média dos dois anos, segundo o sistema de rotação.

Nota: As barras verticais representam o erro padrão da média. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre sistemas de manejo pelo teste de Tukey ($P < 0,1$).

CCPC: cultura contínua sob preparo convencional, CPPC: cultura-pastagem sob preparo convencional, CCPD: cultura contínua sob plantio direto, CPPD: cultura-pastagem sob plantio direto, CCPDC4: cultura contínua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

Na média dos dois anos, novamente nenhum dos sistemas diferenciou-se significativamente, estando os valores entre 1,89 e 3,98 kg N-N₂O ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 13). A ausência de diferenças entre sistemas de preparos coincidiu com o reportado por outros autores (Robertson et al., 2000; Parking et al., 2006). Porém, existem reportes nos quais o PD emitiu mais N₂O que o PC

(Passianoto, 2003, Ball et al., 2008; Halvorson et al., 2008) e outros nos que teve menor emissão (Liebig et al., 2005, Mosier et al., 2006; Escobar, 2011).

Dada a complexa interação dos processos que governam as emissões de N_2O , os diferentes manejos de solo podem afetar essas relações em sentidos distintos (Thornton & Valente, 1996). Por exemplo, o PD pode favorecer os processos de emissão de N_2O por apresentar maior compactação superficial, maior conteúdo de água no solo e maiores estoques de C e N que no sistema sob PC. No entanto, o PC também pode favorecer a produção de N_2O em relação ao PD, através da maior mineralização do N dos resíduos vegetais incorporados e exposição da MOS lábil pela quebra dos agregados do solo.

A inclusão de uma espécie C_4 na sequencia de culturas, não gerou diferenças estatisticamente significativas respeito às outras sequencias de culturas contínuas com espécies C_3 . Porém, nos dois anos avaliados o sistema CCPDC4 foi dos sistemas com maiores magnitudes de emissão anual. Comparado com o sistema CCPD, na media dos dois anos, o sistema CCPDC4 apresentou uma emissão 1,3 vezes superior. Maiores emissões de N_2O do solo sob milho em relação à soja tem sido reportadas por outros estudos (Parkin et al., 2006; Gregorich et al., 2008), sendo atribuídas principalmente às maiores quantidades de N utilizadas. Segundo eles, dependendo do ano avaliado, solos sob produção de milho apresentaram entre 1,2 a 5 vezes mais emissão de N_2O que solos sob produção de soja.

Como já mencionado anteriormente, mesmo que sem diferenças significativas, as magnitudes das emissões de N_2O dos diferentes sistemas de manejo, tiveram uma ampla variação. Neste sentido, Perdomo et al. (2009) mencionam que a alta variabilidade observada nos fluxos de N_2O deixam dúvidas sobre a sensibilidade dos estudos de campo para detectar pequenas diferenças entre diferentes sequências de culturas ou tipos de preparo do solo.

As rotações, com exceção do sistema CCPDC4, já tinham sido avaliadas por Perdomo et al. (2009) no ano 2003/04, embora com câmaras de menor tamanho e protocolo de coletas diferente. Nesse ano, eles também não encontraram diferenças significativas entre os sistemas de rotações, sendo que os valores estiveram entre 1,21 e 5,49 kg N- N_2O ha⁻¹ ano⁻¹, correspondendo os mesmos aos sistemas CCPD e CCPC respectivamente.

Juntando esses dados com os obtidos neste estudo (Figura 14), pode-se observar que, nos três anos avaliados, as sequências com pastagens tiveram magnitudes de emissão de N₂O muito similares ou algo maiores às sequências de culturas contínuas, sendo que na média dos três anos foram 21,2% maior. Já o efeito dos sistemas de preparo nas emissões de N₂O foi inconsistente entre anos. Assim, o PD apresentou menor emissão de N₂O em relação ao PC em dois dos três anos avaliados, e só no último ano o comportamento foi o inverso. Em média o PC teria emitido 18,3% mais N₂O que o solo sob PD.

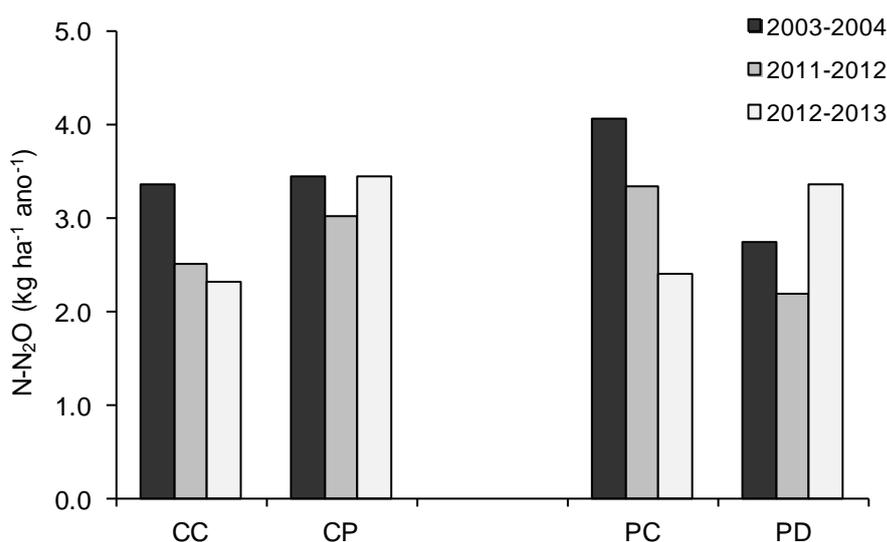


Figura 14 – Emissões acumuladas anuais de N₂O para diferentes sequências de culturas e sistemas de preparo do solo em três anos de avaliação.

Nota: CC: cultura contínua, CP: cultura-pastagem, PC: preparo convencional, PD: plantio direto. Dados do ano 2003-2004 foram extraídos de Perdomo et al., 2009.

Inconsistências dos resultados entre anos, também foram reportados por Gregorich et al. (2008), comparando diferentes sistemas de preparo do solo. Em esse estudo, as emissões de N₂O do solo sob PD foram menores que sob PC em dois dos três anos avaliados. Picos de emissão ocorrendo em momentos determinados podem fazer uma importante contribuição nos acumulados anuais de N₂O (Jacinthe et al., 1997) e fazer a diferença entre os sistemas de produção. Por outro lado, variações interanuais nos fluxos de gases têm sido frequentemente observadas (Dobbie et al., 2003; Mosier et al., 2006), sendo recomendados os estudos de vários anos para obter conclusões mais robustas (Dobbie et al., 2003).

Como resumo, na tabela 7 apresentam-se as emissões de N_2O do solo para os diferentes anos nos que se tem realizado uma avaliação dos diferentes sistemas de manejo, apresentando se também o que até o momento seria a média para Uruguai. Os valores encontrados foram similares com esses entre $3 \pm 7,2$ e $3,2 \pm 5,6$ kg N- N_2O ha⁻¹ ano⁻¹, reportados como valores médios de diferentes sistemas agrícolas avaliados no Canadá e norte dos Estados Unidos (Liebig et al., 2005; Gregorich, et al., 2005). Porém, foram algo menores a aqueles de $7,2 \pm 20,8$ kg N- N_2O ha⁻¹ ano⁻¹ da zona sudoeste dos Estados Unidos (Martens, et al., 2005). Por outro lado no sul do Brasil, sistemas agrícolas sem adubação nitrogenada, tiveram na media de três anos de avaliação emissões de N_2O que variaram aproximadamente entre 1,0 e 3,5 kg N- N_2O ha⁻¹ ano⁻¹, dependendo da sequência de culturas e o sistema de preparo do solo considerado (Gomes, 2006; Zanatta, 2009; Escobar, 2011).

Tabela 7 – Síntese dos resultados em emissão de N_2O do solo sob diferentes sistemas de manejo, em função dos estudos realizados no Uruguai.

Sistema de manejo	Perdomo et al. (2009)	Este estudo		Média Uruguai
	2003/04	2011/12	2012/13	
	. . . . . kg N- N_2O ha ⁻¹ ano ⁻¹			
CCPC	5,49	2,76	1,03	3,09
CPPC	2,62	3,88	1,93	2,81
CCPD	1,21	2,22	3,24	2,22
CPPD	4,26	2,13	5,83	4,07
CCPDC4	. . .	3,20	3,96	3,58

Nota: CCPC: cultura continua sob preparo convencional, CPPC: cultura-pastagem sob preparo convencional, CCPD: cultura continua sob plantio direto, CPPD: cultura-pastagem sob plantio direto, CCPDC4: cultura contínua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

6.4.3 Emissões ou oxidações anuais de metano

Considerando o acumulado anual, o solo comportou-se como dreno de CH_4 , na maioria dos casos (Figura 13). O sequestro médio foi de 0,83 e 0,38 kg de C- CH_4 ha⁻¹ para o primeiro e segundo ano respectivamente. Neste ultimo ano o tratamento CPPD teve emissão líquida de CH_4 , embora de pouca magnitude. Na média dos dois anos avaliados a oxidação de metano foi de -0,61 kg de C- CH_4 ha⁻¹, variando entre -1,00 e -0,38 kg de C- CH_4 ha⁻¹ segundo o sistema de manejo considerado. Dado que a metanogênese é um processo anaeróbico (Topp et al., 1997), a maior quantidade de chuva do segundo ano

pode ter favorecido esse processo e assim diminuído a oxidação anual em relação ao primeiro ano.

Os sistemas de rotações não apresentaram diferenças significativas nos acumulados anuais de CH₄, para nenhum dos dois anos avaliados nem para a média dos mesmos (Figura 13). Porém, alguns autores têm reportado o uso e manejo do solo como um fator que pode modificar o potencial de oxidação de CH₄ dos solos (Goulding et al., 1996; Kessavalou et al., 1998; Hutsch et al. 2001). Esses trabalhos têm indicado o PD e as pastagens como manejos que geram condições de menor perturbação no solo, o que levaria a uma maior capacidade de oxidação de CH₄ em relação ao PC. Porém, neste estudo, 18 anos após de instalados os sistemas de manejo, este comportamento não foi verificado.

Os valores médios anuais de oxidação de metano, ainda com chuvas de 44 e 67% acima da média histórica, foram similares a aqueles de $-0,3 \pm 0,3$ e $-1,4 \pm 0,8$ kg de C-CH₄ ha⁻¹ mencionados como médias de diferentes sistemas agrícolas avaliados no Canadá e norte dos Estados Unidos (Liebig et al., 2005; Gregorich et al., 2005). Por sua vez, na zona sul do Brasil, trabalhos comparando diferentes sistemas de preparo do solo e sequências de culturas, tem reportado valores que variam desde -1,2 até 1,2 kg de C-CH₄ ha⁻¹ (Escobar, 2011; Chavez, 2011; Piva et al., 2012).

6.4.4 Variações dos estoques de COS e custos agrícolas

No ano 2003, o solo tinha um estoque de COS nos primeiros 18 cm de 38,05 Mg ha⁻¹ sem diferenças significativas entre os sistemas de rotações (Tabela 8). Após oito anos, com exceção do sistema CCPC, os estoques de COS foram maiores, com uma média de 40,92 Mg C ha⁻¹. Para o ano 2003, uma discussão detalhada dos estoques de COS e a sua distribuição nas diferentes frações físicas e profundidades do solo pode ser encontrada em Salvo et al. (2010).

O sistema de agricultura contínua sob PC foi o único que registrou perdas de COS. No ano 2011 foi a rotação que teve menor estoque de COS, enquanto que as outras rotações não se diferenciaram entre si ($P < 0,05$).

Assim, na maioria dos sistemas avaliados, o solo comportou-se como um dreno de C-CO₂ atmosférico, com uma retenção líquida que variou entre 0,220 a 0,445 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 8). Estas taxas de acúmulo de COS estão dentro dos intervalos de valores reportados por outros autores para sistemas em PD de zonas temperadas ou subtropicais (Alvarez, 1999; Lal et al., 1999; Bayer et al., 2006; Galantini et al., 2006). Por sua vez, o solo do sistema CCPC comportou-se como fonte de C-CO₂ para a atmosfera, com uma emissão líquida de 0,157 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

Tabela 8 – Estoques de COS em uma massa de solo de 2153 Mg ha⁻¹ (equivalente a 0 a 18 cm) para os anos 2003 e 2011 e taxa de variação anual para os diferentes sistemas de manejo.

Sistema de manejo	Estoques de COS (0 - 18 cm)		Tx. Acúmulo C ⁽¹⁾
	2003	2011	
	... Mg C ha ⁻¹ ...		Mg C ha ⁻¹ ano ⁻¹
CCPC	37,14 a ⁽²⁾	35,88 b	-0,157 b
CPPC	37,26 a	40,38 a	0,391 a
CCPD	38,33 a	40,46 a	0,267 ab
CPPD	37,61 a	41,17 a	0,445 a
CCPDC4	39,90 a	41,92 a	0,253 ab

⁽¹⁾ Valores negativos indicam emissão de C-CO₂ desde o solo para a atmosfera.

⁽²⁾ Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre sistemas de rotações (P<0.05).

Nota: CCPC: cultura contínua sob preparo convencional, CPPC: cultura-pastagem sob preparo convencional, CCPD: cultura contínua sob plantio direto, CPPD: cultura-pastagem sob plantio direto, CCPDC4: cultura contínua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

Tem sido provado que a agricultura contínua sob PC é um sistema que conduz a degradação do solo (Lal et al., 2007). Assim, o uso de rotações com pastagens e a implementação de sistemas de PD, tem sido propostos como alternativas a este sistema, desde que minimizam as perdas por erosão e oxidação, incrementando assim o COS em relação à agricultura contínua sob PC (Díaz-Zorita et al., 2002; Lal et al., 1999; Mielniczuk et al., 2003; VandenBygaart et al., 2003; García Préchac et al., 2004; Alvarez, et al., 2006a; Attard et al., 2011).

Neste experimento, dezoito anos de rotações não tem gerado grandes diferenças nos estoques de COS entre os diferentes sistemas de manejo. Neste sentido, a única mudança significativa foi a diminuição do estoque de COS no sistema CCPC, acontecida nos últimos oito anos. Por sua vez, a taxa de perda desse sistema foi algo menor à reportada por outros autores. No

Uruguai, em rotações de culturas contínuas em PC e com declividade do terreno de 2 a 4%, tem-se reportado perdas de aproximadamente 0,41 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ para os primeiros 20 cm de solo (Baethgen, 2003). Alvarez et al. (2006b), para solos com uso agrícola da Pampa ondulada da Argentina, estimaram uma perda de COS do horizonte A de 0,33 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹.

De forma geral e nas condições do Uruguai, a erosão é a principal causa das perdas de COS. Clérico et al. (2004), utilizando o modelo USLE/RUSLE e Century, estimaram que a erosão explicou entre 50 a 90% das perdas de COS das rotações de culturas contínuas. O experimento utilizado apresenta características que minimizam as perdas por erosão, como ser a declividade menor que 1%, a dupla cultura anual, a textura fina e a colheita unicamente do grão, que deixa grande quantidade de resíduos na superfície de solo. Nesse sentido, é possível que a diminuição da erosão seja a causa das menores taxas de perdas encontradas no sistema CCPC em relação a outros estudos, assim como da falta de maiores diferenças nos estoques de COS entre os diferentes sistemas de manejo. Porém, esta condição de baixa erosão seria mais adequada para realizar estimativas das emissões de CO₂, dado que perdas de COS por erosão não deveriam ser quantificadas como CO₂ liberado à atmosfera.

Conforme registrado por outros autores, os sistemas com maiores aportes de resíduos e/ou menor revolvimento do solo geralmente tem maiores estoques de COS (Terra et al., 2001; Terra et al., 2006; Diekow et al., 2005; Novelli et al., 2011; Boddey et al., 2012). Isto foi observado no ano 2011, embora não tendo-se encontrado muitas diferenças significativas entre os estoques de COS dos diferentes sistemas de manejo (Tabela 8 e 11). É provável que o menor aporte de resíduos tenha sido a principal causa das perdas de COS no sistema CCPC, já que nos últimos oito anos verificou-se uma queda dos seus rendimentos em relação às outras sequências de agricultura contínua sob PD (Tabela 11).

Por outro lado, dado seu baixo aporte de resíduos ao solo, a frequente inclusão de soja nas rotações agrícolas esta associada com redução no estoque de COS (Clerici et al., 2004; Perez Bidegain et al., 2010; Novelli et al., 2011), efeito que não foi verificado neste estudo. Porém, como já foi mencionado anteriormente, a baixa taxa de erosão do sistema pode ter sido a

causa do retardo na visualização das mudanças. Assim, em áreas com maiores declividades seria esperável encontrar maior vantagem do sistema CCPDC4 em relação ao sistema CCPD em quanto ao sequestro de COS (Clerici et al., 2004; Novelli et al., 2011).

No ano 2011, os sistemas em rotação com pastagens apresentaram maiores estoques de COS que os sistemas de agricultura contínua com igual sequência de culturas, contrariamente ao acontecido no ano 2003. Por sua vez, estes sistemas também foram os que apresentaram a maior taxa de acúmulo de COS. Além das culturas apresentar altos rendimentos, as pastagens realizam um contínuo e grande aporte de resíduos ao solo fundamentalmente através das raízes (Bolinder et al., 2007). Porém, é possível que este resultado esteja influenciado pela fase na que estava a rotação ao momento da amostragem do solo. No ano 2003 a rotação foi amostrada ao final do primeiro ano de pastagem, enquanto que no ano 2011 foi ao finalizar o ciclo das mesmas, estando possivelmente no momento de maior acúmulo de COS e maximizando assim a taxa de acúmulo. Avaliações dos estoques de COS por vários anos permitiria ajustar regressões da evolução deste componente, o que possibilitaria estimar taxas médias de acúmulo ou de perdas menos influenciadas pelas variações interanuais.

Outros estudos tem mostrado a capacidade dos sistemas com pastagens de manter os níveis de COS ainda sob PC (Díaz-Zorita et al., 2002; Baethgen, 2003). Neste sentido, em solos com declividades de 2-4% e logo de 10 anos de uma rotação sob PC, ocupada o 50% do tempo por pastagens perenes, a diminuição do estoque inicial de COS foi só de 0,5% (Baethgen, 2003). Díaz-Zorita et al. (2002) encontraram uma interação entre o sistema de preparo e o sistema de rotação. Nas rotações agrícolas sob PC, a inclusão de uma pastagem foi necessária para manter os níveis de COS, não assim nos sistemas sob PD. Neste estudo, isto recém foi observado no ano 2011. Porém, alguns estudos reportaram maiores conteúdos de COS sob pastagens perenes que em solos sob sistemas de culturas contínuas em PD (Ismail et al., 1994; Janzen et al., 1998).

Os sistemas de manejo além de terem apresentado diferentes taxas de acúmulo de COS, também apresentaram diferenças nas emissões de C-CO₂, devido a os custos de C (operações e insumos) necessários para a realização

de cada sistema de rotação (Tabela 9). Os custos detalhados por insumo e atividade realizada se apresentam no apêndice 1.

Os custos foram maiores no primeiro ano de avaliação, por causa da dupla cultura anual, sendo que entre 60 e 73% dos mesmos corresponderam à aplicação do adubo, principalmente do trigo.

Em função dos dados disponíveis, tentou-se estimar uma média anual para a fase agrícola das rotações que fosse mais próxima da realidade. Assim, para o cálculo da média anual considerou-se que em dois de cada três anos realizam-se duas culturas por ano e no terceiro ano o inverno fica em pousio.

Tabela 9 - Estimativa dos custos anuais das operações e insumos agrícolas dos anos avaliados, como carbono equivalente (C-CO₂) (Estimados a partir de Lal, 2004)

Ano	Atividades e insumos agrícolas	Sistemas de manejo				
		CCPC	CPPC	CCPD	CPPD	CCPDC4
		. . . . . kg C-CO ₂ eq ha ⁻¹				
2011-2012	Agroquímicos	10	25	27	41	27
	Adubo	152	152	152	152	212
	Diesel	77	78	49	51	53
	Subtotal	239	255	228	244	292
2012-2013	Agroquímicos	36	36	36	36	26
	Adubo	5	5	5	5	76
	Diesel	37	37	22	22	32
	Subtotal	78	78	63	63	134
Média anual estimada da fase agrícola ⁽¹⁾		186	196	173	184	239

⁽¹⁾ A média anual foi calculada considerando que dois de cada três anos se fazem com dupla cultura anual e o terceiro se realiza pousio invernal.

Nota: CCPC: cultura contínua sob preparo convencional, CPPC: cultura-pastagem sob preparo convencional, CCPD: cultura contínua sob plantio direto, CPPD: cultura-pastagem sob plantio direto, CCPDC4: cultura contínua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

Na média anual e considerando a mesma sequência de culturas, o uso do PD diminuiu o custo de C em apenas 12,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em relação ao PC. Este valor foi algo menor ao estimado por West & Marland (2002) para a maioria das culturas cultivadas nos Estados Unidos. Segundo eles, fazer PD gera uma economia líquida média de aproximadamente 31 kg C ha⁻¹ ano⁻¹ em relação ao PC.

Por outro lado, as sequências de culturas contínuas tiveram um custo de 10,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ menor que aquela da fase de culturas dos sistemas com pastagens. Este maior custo gerou-se no preparo do solo para a primeira

cultura anual, logo após da fase de pastagens. Se fossem considerados os seis anos da rotação, os quais incluem três anos de pastagem com baixo custo, estas rotações diminuiriam os custos de C em aproximadamente 36% em relação às sequências de culturas contínuas (Tabela 9).

Por fim, a sequência com milho como cultura de verão foi a de maior custo em emissões de C-CO₂, sendo 1,3 e 2,1 vezes maior à sequência CCPD, dependendo do ano considerado. Em média, a sequência com milho aumentou as emissões de C-CO₂ em 66 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em relação ao uso de soja como cultura de verão, sendo a principal causa o maior uso de adubo nitrogenado.

6.4.5 Potencial de aquecimento global

A estimativa do PAG das sequências de culturas contínuas e da fase agrícola das rotações com pastagens foi realizada considerando a média dos dois anos avaliados. Para o caso das sequências que incluíram pastagens, estimou-se a emissão anual correspondente a esse período, como mencionado nos materiais e métodos, e calculou-se assim um PAG mais representativo dessas rotações.

Todos os sistemas de manejo de solo avaliados comportaram-se como uma fonte de CO₂, emitindo entre 222 e 581 kg C-CO₂ eq ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 10). A menor magnitude de emissão foi para o sistema CPPC e a maior para o sistema CCPC, sendo esta última fundamentalmente explicada pela perda de COS que vem ocorrendo neste sistema. Por mais que os outros sistemas tiveram maior emissão de N₂O e em algum caso, maiores custos de CO₂ que o sistema CCPC, as maiores taxas de acúmulo de COS compensaram em maior medida no balanço das emissões em C equivalente.

O PC tem sido indicado como um sistema de maior PAG em relação ao PD (Robertson et al. 2000; Escobar 2011; Piva et al., 2012), sendo que neste estudo esta maior emissão só foi observada na sequência de culturas contínuas em PC. Algumas das magnitudes de PAG reportadas, tem variado entre 38 e 412 kg C-CO₂ eq ha⁻¹ ano⁻¹ para diferentes sistemas sob PD e entre 310 e 1124 kg C-CO₂ eq ha⁻¹ ano⁻¹ para sistemas sob PC (Robertson et al. 2000; Escobar 2011; Piva et al., 2012). Em muitos casos, as principais

diferenças entre os PAG dos diferentes sistemas de preparo de solo foram geradas pelas maiores taxas de acúmulo de COS no PD e não tanto por diferenças nas emissões de N₂O (Robertson et al., 2000; Snyder et al., 2009; Piva et al., 2012).

Tabela 10 - Balanço de GEE e intensidade da emissão de GEE para os diferentes sistemas de manejo avaliados.

Componentes do balanço	Sistemas de manejo				
	CCPC	CPPC	CCPD	CPPD	CCPDC4
	..... kg C equivalente ha ⁻¹ ano ⁻¹				
Emissões N₂O	241,9	250,6	348,8	318,8	457,5
Fase lavoura	241,9	371,2	348,8	507,8	457,5
Fase pastagem	...	129,9	...	129,9	...
Solo-past.	...	102,7	...	102,7	...
Dejeto	...	27,2	...	27,2	...
Emissões CH₄	-3,6⁽¹⁾	239,2	-6,0	241,8	-5,4
Fase lavoura	-3,6	-8,6	-6,0	-3,4	-5,4
Fase pastagem	...	486,9	...	486,9	...
Solo-past.	...	-2,0	...	-2,0	...
CH ₄ enter.	...	488,9	...	488,9	...
Emissões CO₂ (Δ estoque COS)	157,2	-390,5	-266,6	-445,1	-252,7
Custos CO₂	185,6	122,9	173,0	113,9	239,2
Fase lavoura	185,6	196,2	173,0	183,6	239,2
Fase pastagem	...	49,6	...	44,2	...
PAG	581,1	222,1	249,2	229,4	438,6
Fase lavoura	581,1	168,3	249,2	242,8	438,6
Fase pastagem	...	275,9	...	215,9	...
Energia bruta (Gcal ha⁻¹ ano⁻¹)	12,1	8,6	14,9	8,9	23,2
Fase lavoura ⁽²⁾	12,1	15,4	14,9	15,95	23,16
Fase pastagem ⁽³⁾	...	1,9	...	1,9	...
IGEE (kg C equivalente Gcal EB⁻¹)⁽⁴⁾	47,9	25,7	16,7	25,7	18,9

⁽¹⁾ Valores negativos indicam sequestro de C-CO₂ pelo solo.

⁽²⁾ Os dados de energia bruta para os diferentes grãos produzidos foram obtidos das tabelas brasileiras para aves e suínos de Rostagno et al., 2011. Milho: 3,94 Mcal kg grão⁻¹, Soja: 4,46 Mcal kg grão⁻¹, Trigo: 3,83 Mcal kg grão⁻¹. Para o cálculo foi considerada a produção média anual das rotações entre o ano 2003 e 2011 (Tabela 11).

⁽³⁾ A EB do leite foi calculada segundo a fórmula do NRC (2001), considerando 3,7% de proteína, 3,3% de gordura e 4,8% de lactose, dando um valor de 0,71 Mcal l⁻¹. Produção de leite: 2691 l ano⁻¹.

⁽⁴⁾ IGEE: Intensidade das emissões de GEE, medidas como PAG por unidade de energia bruta produzida pelo sistema.

Nota: CCPC: cultura contínua sob preparo convencional, CPPC: cultura-pastagem sob preparo convencional, CCPD: cultura contínua sob plantio direto, CPPD: cultura-pastagem sob plantio direto, CCPDC4: cultura contínua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

Em média, os sistemas com pastagens, tiveram um PAG 1,9 vezes menor ao dos sistemas de agricultura continua (423 kg C-CO₂ eq ha⁻¹ año⁻¹) (Tabela 10). Apesar das rotações de culturas-pastagens ter emitido grandes

quantidades de CH_4 pela fermentação entérica dos animais em pastejo, as mesmas tiveram os maiores acúmulos de COS e os menores custos de produção em relação aos sistemas de culturas contínuas. No caso de utilizar o fator de emissão de 2% do N aplicado através dos dejetos, proposto pelo IPCC (2006), as emissões geradas pelos mesmos teriam sido de 272 kg C-CO₂ eq ha⁻¹ ano⁻¹, em vez dos 27 kg C-CO₂ eq ha⁻¹ ano⁻¹ calculados com o fator de 0,2% (Perdomo et al., 2012; Sordi et al, 2013). Nesse caso os sistemas com pastagens teriam emitido em média 348 kg C-CO₂ eq ha⁻¹ ano⁻¹, emitindo 1,4 vezes a mais que o sistema CCPD, mas ainda continuariam tendo menor PAG que os sistemas CCPDC4 e CCPC.

Por outro lado, a inclusão de uma espécie de verão C₄ na rotação, aumentou o PAG em 1,8 vezes em relação à rotação com espécies C₃ (Tabela 10). As principais causas foram a maior emissão de N₂O e os maiores custos, originados da adubação nitrogenada do Milho. Estas emissões não foram compensadas por um maior sequestro de COS, como poderia ser esperado por um maior aporte de resíduos ao solo das espécies C₄. Como já mencionado no item 6.4.4, embora a rotação CCPDC4 tenha apresentado os maiores estoques de COS durante os anos 2003 e 3011, não foi observada uma maior taxa de acúmulo em relação ao sistema com C₃ (Tabela 8).

Nos sistemas agrícolas, com exceção do CCPC, as fontes de emissão foram o N₂O emitido pelo solo e os custos agrícolas (Tabela 10). O N₂O foi responsável aproximadamente por 66% das emissões, em quanto que os custos agrícolas foram responsáveis pela percentagem restante. No sistema CCPC, a perda de COS foi uma terceira fonte de emissão, sendo responsável aproximadamente do 41% das mesmas.

Nos sistemas com pastagens, a terceira fonte de emissão foi o CH₄ liberado pelos animais. Nestes sistemas o N₂O, o CH₄ e o CO₂ dos custos agrícolas contribuíram em média, com 44%, 37% e 18% das emissões respectivamente. Do C-CO₂ equivalente emitido como N₂O, só entre um 20 e 26% foi emitido durante a fase de pastagens (0,8 kg N-N₂O ha⁻¹ ano⁻¹ do solo + 0,2 kg N-N₂O ha⁻¹ ano⁻¹ dos dejetos). Menores emissões de N₂O do solo dos sistemas de leguminosas em relação a sistemas adubados já tinham sido reportadas por outros autores (Veldkamp et al., 1998; Rochette et al., 2004; Gregorich et al., 2005; Parkin et al., 2006).

O N₂O ainda sendo emitido em poucas quantidades (< 6 kg N-N₂O ha⁻¹ ano⁻¹), por ter um PAG de 298 vezes em relação ao CO₂ (IPCC, 2007), teve um grande efeito no balanço de GEE. Concordando com os resultados obtidos por Robertson et al., (2000) e Adviento-Borbe et al. (2007) o N₂O foi a maior fonte individual de PAG da maioria dos sistemas avaliados.

O solo conseguiu sequestrar C-CO₂ da atmosfera através da oxidação do CH₄ e na maioria dos sistemas, pela retenção na MOS (Tabela 10). Este último mecanismo foi responsável pelo sequestro de 98 a 99% desse C-CO₂ (sem considerar CCPC). Desta forma, a retenção C-CO₂ na MOS mostrou-se como o principal mitigador do PAG (Robertson et al., 2000; Adviento-Borbe et al., 2007; Johnson, et al., 2010), não assim a oxidação de CH₄ no solo, que dada suas pequenas magnitudes teve pouca capacidade de mitigação do PAG, (Robertson et al., 2000; Adviento-Borbe et al., 2007). Ambos os mecanismos não foram o suficiente para anular o efeito das emissões.

Existe uma grande variabilidade de sistemas de produção agrícola capazes de gerar magnitudes de PAG muito diferentes (Robertson et al., 2000; Adviento-Borbe et al., 2007), embora também, mudem as quantidades produzidas por cada um deles. Por isso, a importância de avaliar os diferentes sistemas através do seu PAG por unidade de produto (IGEE-intensidade de GEE), como medida da eficiência de produção (Snyder et al., 2009).

Geralmente a IGEE é calculada como o PAG por unidade de produto, seja este, grãos de milho (Mosier et al., 2006; Escobar, 2011), matéria seca de silagem (Piva et al., 2012) ou energia produzida (Snyder et al., 2009). As rotações contrastadas neste estudo incluem tanto sequências exclusivamente agrícolas como agrícolas-pecuária, variando por sua vez, as culturas de verão das mesmas. Por isto, como forma de padronizar o produto final, considerou-se mais apropriado fazer o cálculo em função da energia bruta (EB) produzida (Tabela 10).

Nesta linha, a agricultura contínua sob PC teve a menor eficiência de produção (Tabela 10), emitindo 48 kg de C-CO₂ eq por Gcal de EB produzida, o que foi 2,7 vezes maior que a média dos outros sistemas de culturas contínuas em PD e quase duas vezes maior que os sistemas em rotação com pastagens. Além de emitir uma maior quantidade de C-CO₂ para a atmosfera

por perdas do COS, o sistema CCPC teve menor potencial de produção de grãos e EB, em relação aos outros (Tabela 10 e 11).

Os sistemas CCPD e CCPDC4 foram os que apresentaram menor IGEE. No primeiro sistema, esse resultado deveu-se principalmente ao baixo PAG por unidade de área, sendo que no sistema CCPDC4 deveu-se principalmente à maior produtividade do mesmo. Porém, cabe lembrar que em condições de maiores declividades às deste experimento, seria esperável encontrar maiores perdas de COS por erosão no sistema CCPD. Assim, mesmo que as emissões de C-CO₂ equivalente para a atmosfera fossem as mesmas, o sistema CCPD teria maior degradação do solo em relação ao CCPDC4, por apresentar menores conteúdos de COS (Reeves, 1997; Brady & Weil, 2002). Nesses casos, o sistema CCPDC4 seria mais sustentável que aqueles que apresentam soja como cultura de verão (Clerici et al., 2004; Perez Bidegain et al., 2010; Novelli et al., 2011).

Tabela 11 – Produção média estacional e anual de grãos, para os diferentes sistemas de manejo.

Sistemas de manejo	Produção de grãos ⁽¹⁾		
	Inverno	Verão	Ano
	... kg MS ha ⁻¹ ...		
CCPC	1659 c ⁽²⁾	1301 b	2960 c
CPPC	2370 ab	1417 b	3998 b
CCPD	1939 bc	1690 b	3629 bc
CPPD	2395 a	1526 b	4263 b
CCPD-C4	1638 c	4290 a	5928

⁽¹⁾ Produção média das rotações entre o ano 2003 e 2011

⁽²⁾ Letras diferentes na coluna indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P<0.10).

Nota: CCPC: cultura contínua sob preparo convencional, CPPC: cultura-pastagem sob preparo convencional, CCPD: cultura contínua sob plantio direto, CPPD: cultura-pastagem sob plantio direto, CCPDC4: cultura contínua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

Os sistemas CPPC e CPPD foram os que tiveram menor PAG por unidade de área. Eles também tiveram alta eficiência (baixa IGEE) na produção da fase agrícola, em relação aos sistemas de culturas contínuas com igual sequência. Porém, dada a baixa EB do litro de leite (0,71 Mcal l leite⁻¹) em relação ao kg de grão (3,83 – 4,46 Mcal kg grão⁻¹) apresentaram uma IGEE intermediária entre o sistema CCPC e os outros sistemas de agricultura

continua em PD. No caso de se utilizar o fator de emissão de 2% proposto pelo IPCC (2006), para o N aplicado através dos dejetos, a IGEE destes sistemas resultaria em um valor de 39,7 kg de C-CO₂ eq por Gcal de EB produzida. Embora mais semelhante, a IGEE dos sistemas com pastagens continuaria sendo menor a esse do sistema CCPC.

Como mencionado por Adviento-Borbe et al. (2007), vale a pena lembrar que os PAGs calculados para os diferentes sistemas de produção estão associados a grandes incertezas respeito às mudanças no COS e às grandes variações espaciais e temporais dos fluxos de GEE. Assim, os dados apresentados na tabela 10 devem ser tratados com cautela, sendo o principal objetivo identificar e ter uma aproximação das principais diferenças entre sistemas de manejo. Neste sentido, avaliações de vários anos são importantes para obter resultados e conclusões mais robustas.

6.5 CONCLUSÕES

Os sistemas de manejo de solo considerados conservacionistas, desde o ponto de vista de manter ou aumentar os níveis de COS e a capacidade produtiva do mesmo, não aumentaram as emissões de N₂O nem o PAG em relação ao sistema de agricultura contínua sob PC, ainda em anos com chuva bastante acima da média histórica.

A agricultura contínua sob PC foi o sistema de produção menos eficiente, emitindo quase três vezes mais C-CO₂ por Gcal de energia bruta produzida, que os sistemas de agricultura contínua sob PD e quase duas vezes a mais que os sistemas em rotação com pastagens. Esse sistema além emitir mais GEE, principalmente por diminuição dos seus estoques de COS, esta perdendo capacidade produtiva.

As rotações com pastagens foram os sistemas com menor PAG por area, porém em termos de eficiência produtiva foram intermediários entre o sistema CCPC e os outros sistemas de agricultura continua sob PD, que foram os que tiveram menor emissão por unidade de energia bruta produzida.

Quando não existiram perdas de COS, o N₂O foi o principal contribuinte às emissões de GEE (em C-CO₂eq) dos sistemas exclusivamente agrícolas. Nos sistemas de integração lavoura-pecuária, o CH₄ entérico também foi um

contribuinte importante. Em todos os casos, o acúmulo de COS foi o principal processo mitigador do PAG.

O solo comportou-se como dreno de C-CH₄, sem diferenças entre os sistemas avaliados. Porém as magnitudes foram de baixa magnitude e tiveram pouca significância no balanço de GEE.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo são inovadores para o Uruguai, onde a pesquisa em GEE em sistemas agrícolas de sequeiro tem sido pouco desenvolvida e pouco se conhece sobre o efeito que as práticas de manejo utilizadas no país tem sobre os fluxos de N_2O e CH_4 .

Os resultados são promissores, desde que, mesmo sendo anos com chuvas bastantes acima da média histórica, não foram detectadas diferenças significativas entre os sistemas de manejo nas emissões de N_2O . Assim, os sistemas que têm sido recomendados para melhorar os estoques de COS e a qualidade do solo, não aumentaram as emissões de N_2O , em relação ao sistema de agricultura continua com preparo convencional, considerado como o mais degradativo. Por sua vez, eles também tiveram menor PAG por unidade de área e por unidade de energia bruta produzida.

Independentemente do sistema de manejo utilizado, as principais variáveis controladoras dos fluxos de N_2O foram a porosidade preenchida por água e a disponibilidade de NO_3 , enquanto que os fluxos de CH_4 não foram controlados por nenhuma das variáveis avaliadas.

Grandes variações nas magnitudes das emissões anuais de N_2O dos diferentes sistemas de manejo foram encontradas de um ano para outro, apresentando inconsistências no ordenamento dos sistemas de manejo segundo as suas emissões. Essa grande variabilidade encontrada nas emissões dos GEE transfere-se logo ao calculo do PAG. Assim, estudos de

longo prazo, com anos climaticamente diferentes, são necessários para obter conclusões mais robustas sobre o efeito dos diferentes sistemas de manejo nas emissões de GEE. Por sua vez estudos que visem melhorar a sensibilidade (diminuição da variabilidade dos fluxos) da metodologia empregada nas avaliações de campo, continuam sendo necessários.

Uma completa caracterização dos sistemas de integração lavoura pecuária em relação ao balanço de GEE continua sendo um desafio. Nestes sistemas, o efeito animal também deve ser avaliado, incorporando assim maior variabilidade. São poucos os estudos que tem trabalhado com este tipo de sistemas, e a metodologia de avaliação ainda não esta clara. Discussões entre diferentes grupos de pesquisa podem ajudar a elucidar uma estratégia para uma melhor caracterização dos mesmos. Por sua vez, a interação com pesquisadores que tenham foco no componente animal é imprescindível.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADVIENTO-BORBE, M. A. A. et al. Soil greenhouse gas fluxes and global warming potential in four high-yielding maize systems. **Global Change Biology**, Oxford, v.13, n.9, p.1972-1988, 2007.

ALLUVIONE, F.; HALVORSON, A. D.; DEL GROSSO, S. Nitrogen, tillage, and crop rotation effects on carbon dioxide and methane fluxes from irrigated cropping systems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 38, p. 2023–2033, 2009.

ALVAREZ, R. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 21, n. 1, p. 38–52, 2005.

ÁLVAREZ, R. Balance de C en suelos cultivados de la Pampa Húmeda. In: Jornada técnica “Biología del suelo en siembra directa”. Buenos Aires, INTA-PROCISUR, 1999. p. 33-36.

ALVAREZ, R.; STEINBACH, H. S. Efecto del sistema de labranza sobre la materia orgánica. In: Pascale, A. J. (Ed) **Materia orgánica: Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos**. Buenos Aires: Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, 2006a. P. 69-78.

ALVAREZ, R.; STEINBACH, H. S. Cambios en los niveles de materia orgánica por introducción del cultivo. In: Pascale, A. J. (Ed) **Materia orgánica: Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos**. Buenos Aires: Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, 2006b. P. 41-54.

AMBUS, P.; CHRISTENSEN, S. Spatial and seasonal nitrous oxide and methane fluxes in Danish forest-grassland-, and agroecosystems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 24, n. 5, p. 993-1001, 1995.

ANDRIULO, A.; GUERIF, J.; MARY, B. Evolution of soil carbon with various cropping sequences on the rolling pampas. Determination of carbon origin using variations in natural ^{13}C abundance. **Agronomie**, Paris, v. 19, n. 5, p. 349-364, 1999.

ATTARD, E. et al. Soil environmental conditions rather than denitrifier abundance and diversity drive potential denitrification after changes in land uses. **Global Change Biology**, Oxford, v. 17, n. 5, p. 1975–1989, 2011.

BAETHGEN, W. E.; MARTINO, D. L. **Cambio Climático, Gases de Efecto Invernadero e Implicancias en los Sectores Agropecuario y Forestal del Uruguay**. Disponible em: <<http://www.inia.org.uy/online/site/publicaciones.php>> Acceso em: 15 Fev. 2014.

BAETHGEN, W.E. Utilización del modelo Century para estudiar la dinámica de carbono y nitrógeno. In: 40 años de rotaciones agrícolas-ganaderas. Colonia: INIA La Estanzuela, p. 9–18, 2003. (Serie técnica, 134).

BAGGS, E.; PHILIPPOT, L. Microbial terrestrial pathways to nitrous oxide. In: SMITH, K.A. (Ed.) **Nitrous oxide and climate change**. Londres: Earthscan, 2010. p. 4-35.

BALL, B.C.; SCOTT, A.; PARKER, J.P. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.53, n.1, p.29-39, 1999.

BALL, B.C.; CRICHTON, I.; HORGAN, G.W. Dynamics of upward and downward N₂O and CO₂ fluxes in ploughed or no-tilled soils in relation to waterfilled pore space, compaction and crop presence. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.101, n.1-2, p.20-30, 2008.

BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.54, n.1-2, p.101-109, 2000.

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.86, n.2, p.237-245, 2006.

BAYER, C. Potencial de sistemas de manejo no sequestro de carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa em ambientes subtropicais. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 19 Y CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 23, 2012, Mar del Plata. **Actas del XIX Congreso latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso argentino de la Ciencia del Suelo**, Mar del Plata, 2012. 1 CD –ROM.

BAYER, C. et al. Methane emission from soil under long-term no-till cropping Systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 124, n. 7, p. 1-7, 2012.

BODDEY, R. M. Et al. Estoques de carbono nos solos do Brasil. Quantidade e mecanismos de acúmulo e preservação. In: LIMA, M. A. et al. (Eds). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2012. p. 33-82.

BOECKX, P.; VERVAET, H.; VAN CLEEMPUT, O. NO and N₂O fluxes from a Belgian forest affected by elevated nitrogen deposition. **Guyana Botanica**, Concepción, v. 62, n. 2, p. 72-87, 2005.

BOLINDER, M.A. et al. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 118, n. 1-2, p. 29-42, 2007.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Soil organic matter. In: **The nature and properties of soils**, 13. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. p. 498-542.

BURNEY, J. A.; DAVIS, S. J.; LOBELL, D.B. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v.107, n. 26, p. 12052-12057, 2010.

BUTTERBACH-BAHL, K. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? **Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Science**, London, v.368, n. 1621, p. 1-13, 2013.

CHAPUI S – LARDY, L. Soils, a sink for N₂O? A review. **Global Change Biology**, Oxford, v. 13, n. 1, p. 1-17, 2007.

CHAVEZ, L. F. **Balanço da emissão de gases de efeito estufa em argissolo vermelho sob sistemas de cultura em plantio direto**. 2011. 120 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CLERICI, C. et al. Estimación del impacto de la soja sobre erosión y carbono orgánico en suelos agrícolas del Uruguay. In: CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 19 Y SIMPOSIO NACIONAL SOBRE SUELOS VERTISOLICOS, 2, 2004, Paraná. **Resúmenes del XIX Congreso Argentino de la Ciencias del Suelo. II Simposio Nacional sobre Suelos Vertisólicos**, Parana: SACS, 2004, p 337.

CLOUGH, T. J. et al. Carbon induced subsoil denitrification of ¹⁵N-labelled nitrate in 1 m deep soil columns. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 31, n. 1, p. 31-41, 1999.

CLOUGH, T. J.; SHERLOCK, R. R.; ROLSTON, D. E. A review of the movement and fate of N₂O in the subsoil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v. 72, n. 1, p. 3-11, 2005.

DALAL, R. C.; ALLEN, D. E.; LIVESLEY, S. J. Magnitude and biophysical regulators of methane emission and consumption in the Australian agricultural, forest, and submerged landscapes: a review. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 309, n. 1-2, p. 43-76, 2008.

DIAZ-ZORITA, M.; DUARTE, G. A.; GROVE, J. H. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in subhumid and semiarid Pampas of Argentina. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, n. 1, p. 1–18, 2002.

DIEKOW, J. et al. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 87-95, 2005.

DINI, Y. **Emisión de metano entérico de vacas lecheras en pastoreo de praderas dominadas por gramíneas o por leguminosas**. 2012, 67 f. Tese (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias, opção Ciências Animais, Faculdade de Agronomia, Universidad de la República, Montevideo, 2012.

DOBBIE, K. E.; SMITH, K. A. Nitrous oxide emissions factors for agriculture soils in Great Britain: the impact of soil water-filled pore space and other controlling variables. **Global Change Biology**, Oxford, v. 9, n. 2, p. 204-218, 2003.

DUNFIELD, P. et al. Methane production and consumption in temperate and subarctic peat soils, response to temperature and pH. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 25, n. 2, p. 321–326, 1993.

ELLERT, B. H., BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, n. 4, p. 529–538, 1995.

ESCOBAR, L. F. **Mitigação das emissões de gases de efeito estufa por sistemas conservacionistas de manejo de solo**. 2011. 89 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FRANZLUEBBERS, A. J. Greenhouse gas contributions and mitigation potential in agricultural regions of North America: introduction. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 83, n. 1, p. 1–8, 2005.

FUCREA. Federación Uruguaya de Grupos CREA. Resultados económicos CREA lecheros. Resultados de Gestión Ej. 12/13. In: Taller de gestión de los CREA lecheros, 2013. Cardona: FUCREA, 2013. Disponível em: <<http://www.fucrea.org/informacion/index.php?Typeld=15&ClassId=49>> Acesso em: 15 Fev. 2014.

GALANTINI, J. A. et al. Sistemas de labranza en el sudoeste Bonaerense. Efecto de largo plazo sobre las fracciones orgánicas y el espacio poroso del suelo. **Revista de Investigaciones Agropecuarias**, Buenos Aires, v. 35, n. 1, p 15-30, 2006.

GARCIA PRECHAC, F. et al. Integrating no-till crop pasture rotations in Uruguay. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 1–13, 2004.

GOMES, J. **Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo.** 2006. 126 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GOODROAD, L. L.; KEENEY, D. R. Nitrous oxide emissions from forest, Marsh, and Prairie ecosystems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 13, n. 3, p. 448-452, 1984.

GOULDING et al. Methane fluxes in aerobics soils. **Environmental Monitoring and Assessment**, Netherlands, v. 42, n. 1-2, p. 175-187, 1996.

GREGORICH, E. G. et al. Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 83, n. 1, p. 53-72, 2005.

GREGORICH, E. G.; et al. Tillage effects on N₂O emission from soils under corn and soybeans in Eastern Canada. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v., 88, n. 2, p. 153-161, 2008.

HALVORSON, A.D.; DEL GROSSO, S.J.; REULE, C.A. Nitrogen, tillage, and crop rotation effects on nitrous oxide emissions from irrigated cropping systems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.37, n.4, p.1337-1344, 2008.

HAWKINGS, D. M.; FATTI, L. P. Exploring multivariate data using the minor principal components. **The Statistician**, New York, v. 33, n. 4, p. 325-338, 1984.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, San Diego-California, v. 49, p. 119–199, 1993.

HOFFMAN, E. et al. Propuesta para el manejo del nitrógeno en cultivos de invierno en Uruguay. **Informaciones Agronómicas**, Buenos Aires, v. 46, n. 2, p. 13-18, 2010.

HUTSCH, B. W. Methane oxidation in non-flooded soils as affected by crop production — invited paper. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 14, n. 4, p. 237–260, 2001.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007: the physical science basis**. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html>. Acesso em: 27 fev. 2014.

ISMAIL, I.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. **Soil Science Society of America Journal**. Washington D.C., v. 58, n.1, p. 193–198, 1994.

JACINTHE, P. A.; DICK, W. A. Soil management and nitrous oxide emissions from cultivated fields in southern Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 41, n. 3-4, p. 221–235, 1997.

JANTALIA, C.P. et al. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v.82, n.2, p.161- 73, 2008.

JANZEN, H.H. et al. Soil carbon dynamics in Canadian agroecosystems. In: LAL, R. et al. (Eds) **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press. p. 57-80, 1998a.

JANZEN, H.H. et al. Management effects on soil carbon storage on the Canadian prairies. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 47, n. 3-4, p. 181–195, 1998b.

JOHNSON, J.M.F.; ARCHER, D.; BARBOUR, N. Greenhouse Gas Emission from Contrasting Management Scenarios in the Northern Corn Belt. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.74, n.2, p.396-406, 2010.

KESSAVALOU, A. et al. Fluxes of carbon dioxide, nitrous oxide, and methane in grass sod and winter wheat-fallow tillage management. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.27, n.5, p.1094-1104, 1998.

KHALIL, M. I.; BAGGS, E. CH₄ oxidation and N₂O emissions at varied soil water-filled pore spaces and headspace CH₄ concentrations. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 37, n. 37, p. 1785–1794, 2005.

LAL, R. et al. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 54, n. 1, p. 374-381, 1999.

LAL, R. World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 71, p. 145–191, 2001.

LAL, R. Carbon emission from farm operations. **Environment International**, Oxford, v.30, n.7, p.981-990, 2004.

LAL, R.; REICOSKY, D. C.; HANSON, J. D. Evolution of the plow over 10000 years and the rationale for no-till farming. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, n. 1, p. 1-12, 2007.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Science**, London, v. 363, n. 1492, p. 815-830, 2008.

LAVILLE, P. et al. Effect of management, climate and soil conditions on N₂O and NO emissions from an arable crop rotation using high temporal resolution

measurements. **Agricultural and Forest Meteorology**, Madison, v. 151, n. 2, p. 228-240, 2011.

LEBORGNE, R. **Antecedentes y metodología para presupuestación en establecimientos lecheros**. 2. ed. Montevideo: Ed. Hemisferio Sur, 1883. 54p.

LIEBIG, M.A. et al. Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agricultural practices in northwestern USA and western Canada. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.83, n.1, p.25-52, 2005.

LINN, D. M.; DORAN, J. W. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 48, n. 4, p. 1267-1273. 1984.

MARTENS, D. A. et al. Atmospheric carbon mitigation potential of agricultural management in the southwestern USA. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 83, n. 1, p. 95-119, 2005.

MCCLAIN, M. E. et al. Biogeochemical hot spots and hot moments at the interface of terrestrial and aquatic ecosystems. **Ecosystems**, New York, v.6, n. 4, p. 301–312, 2003.

MCSWINEY, C. P.; ROBERTSON, G. P. Nonlinear response of N₂O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (*Zea mays* L.) cropping system. **Global Change Biology**, Oxford, v. 11, n. 10, p. 1712–1719, 2005.

MIELNICZUK, J. Manejo do solo no Rio Grande do Sul: uma síntese histórica. **Revista Agronomia**, Porto Alegre, v.12, n. 2, p.11-22, 1999.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N. et al (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2003. v.3. p.209-248.

MORON, A.; SAWCHIK, J. 2003. Soil quality indicators in a long-term crop-pasture rotation experiment in Uruguay. In: 40 años de rotaciones agrícolas-ganaderas. Colonia: INIA La Estanzuela, p. 67–76, 2003. (Serie técnica, 134).

MOSIER, A. R., PETERSON, G. A., SHERROD, L. A. Mitigating net global warming potential (CO₂, CH₄ and N₂O) in upland crop productions. In: METHANE AND NITROUS OXIDE INTERNATIONAL WORKSHOP PROCEEDINGS, Beijing, 2003. p 273–280.

MOSIER, A.R. et al. Net global warming potential and greenhouse gas intensity in irrigated cropping systems in Northeastern Colorado. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.35, n.4, p.1584-1598, 2006.

MULVANEY, R. L. Nitrogen-inorganic forms. In: D.L. SPARKS et al. (Eds.) **Methods of Soil Analysis**. Part 3. Chemical Methods. Madison WI: ASA and SSSA, 1996. p 1123-1184.

NOVELLI, L. E.; CAVIGLIA, O. P.; MELCHIORI, R. J. M. Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. **Geoderma**, Amsterdam, v. 167-168, p. 254–260, 2011.

NRC-National Research Council. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7. ed. Washington D.C.: The National Academy Press, 2001. 381p. Disponível em: <<http://profsite.um.ac.ir/~kalidari/software/NRC/HELP/NRC%202001.pdf>> Acesso em: 15 Fev. 2014.

PARKIN, T.B.; KASPAR, T.C. Nitrous oxide emissions from corn-soybean systems in the Midwest. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.35, n.4, p.1496-1506, 2006.

PASSIANOTO, C. et al. Emissions of CO₂, N₂O, and NO in conventional and no-till management practices in Rondônia, Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 38, n. 4, p. 200–208, 2003.

PERDOMO, C.; IRISARRI, P.; ERNST, O. Nitrous oxide emissions from an Uruguayan argiudoll under different tillage and rotation treatments. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v. 84, n. 2, p. 119-128, 2009.

PERDOMO, C. et al. Emisiones de óxido nitroso de suelos bajo cultivos anuales, pasturas y plantaciones forestales en Uruguay. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 19 Y CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 23., 2012, Mar del Plata. **Actas del XIX Congreso latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso argentino de la Ciencia del Suelo**, Mar del Plata, 2012. CD – ROM.

PEREZ BIDEGAIN, M. et al. La erosión de suelos en sistemas agrícolas. In: GARCIA PRECHAC, F. et al. **Intensificación Agrícola: oportunidades y amenazas para un país productivo y natural**. Montevideo: Universidad de la República-CSIC, 2010. p. 67-88.

PILLAR, V. P. The bootstrapped ordination re-examined. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, v. 10, n. 6, p. 895-902, 1999.

PIVA, J. T et al. No-till reduces global warming potential in a subtropical Ferralsol. **Plant and Soil**, The Hague, v. 361, n. 1-2, p. 359-373, 2012.

PIVA, J. T. et al. Soil gaseous N₂O and CH₄ emissions and carbon pool due to integrated crop-livestock in a subtropical Ferralsol. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, in press-corrected proof, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880913003071>> Acesso em: 15 Nov. 2013.

PRIEMÉ, A. et al. Slow increase in rate of methane oxidation in soil with time following land use change from arable agriculture to Woodland. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 29, n. 8, p. 1269-1273, 1997.

RAVINSHAKARA, A. R.; DANIEL, J. S.; PORTMANN, R. W. Nitrous oxide (N₂O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. **Science**, Washington, v. 326, n. 5949, p. 123–125, 2009.

REEVES, D.W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 43, n. 1-2, p. 131–167, 1997.

ROBERTSON, G.P., PAUL, E.A., HARWOOD, R.R. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. **Science**, Washington, v.289, n.5486, p.1922-1925, 2000.

ROBERTSON, G. P.; GROFFMAN, P. M. Nitrogen transformations. In: Paul E.A., (ed). **Soil Microbiology, Biochemistry, and Ecology**. New York: Springer, 2007. p 341-364.

ROCHETTE, P. et al. Emissions of N₂O from alfalfa and soybean crops in eastern Canada. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, n. 2, p. 493-506, 2004.

ROSTANGO, H. S. (Ed) et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos. Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. 3. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Zootecnia, 2011. 252 p.

RUSER, R. et al. Effect of crop-specific field management and N fertilization on N₂O emissions from a fine-loamy soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v. 59, n. 2, p. 177-191, 2001.

SALVO, L.; HERNANDEZ, J.; ERNST, O. Distribution of soil organic carbon in different size fractions, under pasture and crop rotations with conventional tillage and no-till systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 109, n. 2, p. 116–122, 2010.

SIRI, G.; ERNST, O. Cambios en el contenido de carbono y nitrógeno del suelo ¿Hacia donde va el sistema? In: SIMPOSIO NACIONAL DE AGRICULTURA DE SECANO. 2009, Paysandu. **Resúmenes del Primer Simposio Nacional de Agricultura de Secano**, Paysandu, Facultad de Agronomía, 2009. p 111-123.

SIX, J. et al. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. **Global Change Biology**, Oxford, v.10, n.2, p.155-160, 2004.

SMITH, K. A. et al. Oxidation of atmospheric methane in Northern European soils, comparison with other ecosystems, and uncertainties in the global terrestrial sink. **Global Change Biology**, Oxford, v. 6, n. 7, p. 791–803, 2000.

SMITH, P. et al. Greenhouse gas mitigation in agriculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Science**, London, v. 363, n. 1442, p. 789-813, 2008.

SNYDER, C. S. et al. Review of greenhouse gas emission from crop production system and fertilizer management effects. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, Oxford, v. 133, n. 3-4, p. 247-266, 2009.

SORDI, A. et al. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, Oxford, in press-corrected proof, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880913003034>> Acesso em: 15 Nov. 2013.

TERRA, J. A.; GARCIA PRECHAC, F. **Siembra directa y rotaciones forrajeras en las lomadas del este: síntesis 1995–2000**. Treinta y tres: INIA Treinta y Tres, p. 100. 2001. (Serie Técnica, 125).

TERRA, J.A. et al. Soil use intensity impacts on total and particulate soil organic matter in no-till crop-pasture rotations under direct grazing. **Advances in GeoEcology**, Reiskirchen, v. 38, p. 233–241, 2006.

THORNTON, F. C.; VALENTE, R. J. Soil emissions of nitric oxide and nitrous oxide from no-till corn. **Soil Science Society of America Journal**. Washington D.C., v. 60, n. 4, p. 1127–1133, 1996.

TIAN, H. et al. Spatial and temporal patterns of CH₄ and N₂O fluxes in terrestrial ecosystems of North America during 1979-2008: application of a global biogeochemistry model. **Journal of Geophysical Research. Biogeosciences**, Hoboken, v. 7, n. 2, p. 2673–2694, 2010.

TOPP, E.; PATTEY, E. Soils as sources and sinks for atmospheric methane. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 77, n. 3, p. 167–178, 1997.

URUGUAY. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA). **Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero: 2004. Evolución de Emisiones de GEI 1990-2004**. Uruguay, 2010. 37p. (Resumen Ejecutivo).

VANDENBYGAART, A. J.; GREGORICH, E. G.; ANGERS, D. A. Influence of agriculture management on soil organic carbon: a compendium and assessment of Canadian studies. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 83, n. 4, p. 363-380, 2003.

VELDKAMP, E.; KELLER, M.; NUÑEZ, M. Effects of pasture management on N₂O and NO emissions from soils in the humid tropics of Costa Rica. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 12, n. 1, p. 71–79, 1998.

VELDKAMP, E.; WEITZ, A. M.; KELLER, M. Management effects on methane fluxes in humid tropical pasture soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 33, n. 11, p. 1493–1499, 2001.

WERNER, C. et al. N₂O, CH₄ and CO₂ emissions from seasonal tropical rainforests and a rubber plantation in Southwest China. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 289, n. 1-2, p. 335–353, 2006.

WEST, T. O.; MARLAND, G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Oxford, v. 91, n. 1-3, p. 217–232, 2002.

WRAGE, G. L et al. Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 33, n. 12-13, p. 1722-1732, 2001.

ZANATTA, J.A. **Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e fontes de nitrogênio**. 2009. 79 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ZANATTA, J.A. et al. Nitrous oxide and methane fluxes in Southern Brazilian Gleysol as affected by nitrogen fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.5, p.1653-1665, 2010.

9. APÊNDICES

Apêndice 1- Estimativa detalhada dos custos das operações e insumos agrícolas dos anos avaliados, como carbono equivalente (C-CO₂) (Estimados a partir de Lal, 2004).

Ano	Atividades e insumos agrícolas	Custos atividades kg C-CO ₂ eq ha ⁻¹				
		CCPC	CPPC	CCPD	CPPD	CCPDC4
2011-2012	4.5 l glifosato ha ⁻¹		14,6		14,6	
	Aplicação		1,4		1,4	
	Gradagem e escarificador	16,2	16,2			
	Gradagem	5,8	5,8			
	5 l glifosato ha ⁻¹			16,2	16,2	16,2
	Aplicação			1,4	1,4	1,4
	Semeadura	3,2	3,2	3,8	3,8	3,8
	100kg 18-46 ha ⁻¹ na semeadura	32,6	32,6	32,6	32,6	32,6
	100 kg uréia ha ⁻¹ Z22 Trigo	59,8	59,8	59,8	59,8	59,8
	Aplicação	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
	6 g Herbicida ha ⁻¹	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	Aplicação	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	1 l Fungicida ha ⁻¹	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59
	Aplicação	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	100 kg uréia ha ⁻¹ Z30 Trigo	59,8	59,8	59,8	59,8	59,8
	Aplicação	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
	Colheita	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
	Gradagem	7,9	7,9			
	Semeadura	3,2	3,2	3,8	3,8	3,8
	3 l glifosato ha ⁻¹	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
	Aplicação					1,4
	100 kg uréia ha ⁻¹ V6 Milho					59,8
	Aplicação	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Colheita	7,4	7,4	7,4	7,4	10	
Subtotal	239	255	228	244	292	
2012-2013	Gradagem e escarificador	16,2	16,2			
	5 l de glifosato ha ⁻¹	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2
	Aplicação	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	3 l de glifosato ha ⁻¹	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
	Aplicação	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	Semeadura Soja e milho RR	3,2	3,2	3,8	3,8	3,8
	100 kg 0-23-0 ha ⁻¹ na semeadura	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
	Aplicação	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
	120 kg uréia ha ⁻¹					71,5
	Aplicação					7,6
	3 l glifosato ha ⁻¹ +inseticida	10,5	10,5	10,5	10,5	
	Aplicação	1,4	1,4	1,4	1,4	
	Colheita	7,4	7,4	7,4	7,4	10
Subtotal	80	80	64	64	134	
Média anual estimada da fase agrícola ⁽¹⁾	186	197	173	184	239	

Nota: ⁽¹⁾ A média anual foi calculada considerando que dois de cada três anos se fazem com dupla cultura anual e o terceiro se realiza pousio invernal.

CCPC: cultura contínua sob preparo convencional, CPPC: cultura-pastagem sob preparo convencional, CCPD: cultura contínua sob plantio direto, CPPD: cultura-pastagem sob plantio direto, CCPDC4: cultura contínua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

Apêndice 2 - Temperatura do ar e precipitação diária para o período de avaliação de gases 2011-2012.

Mes	Nº Dia do mes	2011-2012		
		Nº Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação diária ... mm ...
mai-11	1		12,9	3,3
mai-11	2		11,6	0,3
mai-11	3		12,7	0
mai-11	4		13,8	0
mai-11	5		17,4	0
mai-11	6		15,1	0,3
mai-11	7		15,3	0
mai-11	8		15,5	0
mai-11	9		13,6	0
mai-11	10	1	17,7	0
mai-11	11	2	20,4	0
mai-11	12	3	19,3	0,3
mai-11	13	4	16,4	9,7
mai-11	14	5	15,7	0,8
mai-11	15	6	14,2	0,3
mai-11	16	7	14,3	0
mai-11	17	8	14,8	0
mai-11	18	9	15,2	0
mai-11	19	10	16,2	0
mai-11	20	11	18,2	0
mai-11	21	12	17,7	0
mai-11	22	13	18,2	12,7
mai-11	23	14	13,2	0
mai-11	24	15	13,9	85,6
mai-11	25	16	13,4	18,5
mai-11	26	17	11,2	0,3
mai-11	27	18	10,7	0,3
mai-11	28	19	11,9	0
mai-11	29	20	12	0
mai-11	30	21	13,7	0
mai-11	31	22	14,4	0
jun-11	1	23	12,3	0
jun-11	2	24	12,8	0
jun-11	3	25	11,6	0
jun-11	4	26	7,3	0,3
jun-11	5	27	8,3	0
jun-11	6	28	9,4	8,4

jun-11	7	29	8,7	0,3
--------	---	----	-----	-----

Continuação. . .

Mes	Nº Dia do mes	2011-2012		
		Nº Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação diária ... mm ...
jun-11	8	30	8,9	0,5
jun-11	9	31	10,6	0,3
jun-11	10	32	12,8	0
jun-11	11	33	14,2	0,5
jun-11	12	34	15,1	0
jun-11	13	35	10,6	0
jun-11	14	36	11,7	0
jun-11	15	37	17,7	0,3
jun-11	16	38	18,1	35,8
jun-11	17	39	16,1	0,5
jun-11	18	40	16,8	0
jun-11	19	41	19,7	29,7
jun-11	20	42	15,7	0,3
jun-11	21	43	12,9	0
jun-11	22	44	14,2	15,5
jun-11	23	45	12,5	23,6
jun-11	24	46	10,2	0,5
jun-11	25	47	8,3	0,3
jun-11	26	48	5,6	0,3
jun-11	27	49	6,2	0
jun-11	28	50	8,1	0
jun-11	29	51	8,8	0
jun-11	30	52	8,4	0
jul-11	1	53	5,7	0
jul-11	2	54	5,9	0
jul-11	3	55	5	0
jul-11	4	56	5,5	0
jul-11	5	57	7,3	0
jul-11	6	58	7,1	0
jul-11	7	59	8,7	0
jul-11	8	60	9,8	0
jul-11	9	61	12,8	0
jul-11	10	62	15,8	5,3
jul-11	11	63	16,2	0
jul-11	12	64	15,5	0
jul-11	13	65	15	0,3
jul-11	14	66	16,9	0,3
jul-11	15	67	19,1	36,1

jul-11	16	68	12,7	33,8
jul-11	17	69	11,4	0
jul-11	18	70	13,4	0,3

Continuação...

Mes	N° Dia do mes	2011-2012		
		N° Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação diaria ... mm ...
jul-11	19	71	9,4	7,1
jul-11	20	72	8,4	0
jul-11	21	73	8,8	0
jul-11	22	74	8,6	0,3
jul-11	23	75	10,8	0,3
jul-11	24	76	14,9	0,3
jul-11	25	77	20,6	10,7
jul-11	26	78	12,6	0,3
jul-11	27	79	12,8	0,5
jul-11	28	80	15,3	0
jul-11	29	81	11,7	0
jul-11	30	82	7,5	0
jul-11	31	83	6,3	0,3
ago-11	1	84	6,8	57,2
ago-11	2	85	7,8	20,1
ago-11	3	86	10,3	0,3
ago-11	4	87	7,3	0
ago-11	5	88	10,6	0
ago-11	6	89	13,6	0
ago-11	7	90	14,9	0
ago-11	8	91	15,6	0
ago-11	9	92	16,6	0
ago-11	10	93	18,3	0
ago-11	11	94	19,3	0,3
ago-11	12	95	23,1	0,3
ago-11	13	96	12,2	14,7
ago-11	14	97	11,2	0
ago-11	15	98	14	0
ago-11	16	99	14,2	55,6
ago-11	17	100	11,7	0,3
ago-11	18	101	12,7	13,7
ago-11	19	102	9,7	0
ago-11	20	103	7,4	0
ago-11	21	104	7	0
ago-11	22	105	6,8	0
ago-11	23	106	8,5	0
ago-11	24	107	12,1	0,3
ago-11	25	108	13,4	0,3

ago-11	26	109	11,2	0,3
ago-11	27	110	12,2	27,2
ago-11	28	111	12,3	0,3

Continuação...

Mes	Nº Dia do mes	2011-2012		
		Nº Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação diária ... mm ...
ago-11	29	112	12,8	0
ago-11	30	113	11,8	0,3
ago-11	31	114	10,8	0
set-11	1	115	11,1	0
set-11	2	116	13,9	0
set-11	3	117	19	0
set-11	4	118	17,9	0
set-11	5	119	13,4	0
set-11	6	120	13,8	0
set-11	7	121	15,3	0
set-11	8	122	14,2	0
set-11	9	123	16,3	0
set-11	10	124	16,9	0
set-11	11	125	12,6	0
set-11	12	126	17,3	0
set-11	13	127	14,9	0
set-11	14	128	14	0
set-11	15	129	17,7	0
set-11	16	130	20,8	0,5
set-11	17	131	17,3	5,8
set-11	18	132	14,2	0
set-11	19	133	13,7	0
set-11	20	134	15,1	0,3
set-11	21	135	16,6	0
set-11	22	136	16,4	0
set-11	23	137	13,6	0
set-11	24	138	14,9	0
set-11	25	139	18,3	0
set-11	26	140	20,6	0
set-11	27	141	21	0
set-11	28	142	21,2	0
set-11	29	143	22,2	0
set-11	30	144	15,6	37,6
out-11	1	145	15,9	0,3
out-11	2	146	17,8	0,3
out-11	3	147	13,1	0
out-11	4	148	12	1,8

out-11	5	149	14,8	0
out-11	6	150	18,6	0,5
out-11	7	151	16,3	96,5
out-11	8	152	17,1	0,5

Continuação...

Mes	Nº Dia do mes	2011-2012		
		Nº Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação diária ... mm ...
out-11	9	153	16,1	0,3
out-11	10	154	16,3	0,3
out-11	11	155	17,7	0
out-11	12	156	16,2	78,5
out-11	13	157	17	0,3
out-11	14	158	17,2	0
out-11	15	159	17,8	0,3
out-11	16	160	19,8	0
out-11	17	161	16,4	0
out-11	18	162	16,5	0
out-11	19	163	18,7	0
out-11	20	164	19,3	0
out-11	21	165	20,1	0
out-11	22	166	21,7	4,3
out-11	23	167	15,9	16,8
out-11	24	168	18,1	1,3
out-11	25	169	17,3	0,8
out-11	26	170	14,6	0,3
out-11	27	171	14,4	0
out-11	28	172	18,6	0
out-11	29	173	17	2,3
out-11	30	174	15,2	0
out-11	31	175	14,2	0
nov-11	1	176	16,7	0
nov-11	2	177	19,4	0
nov-11	3	178	21,6	0
nov-11	4	179	22,8	0
nov-11	5	180	24,9	4,8
nov-11	6	181	21,8	0
nov-11	7	182	22,3	0
nov-11	8	183	23,7	0
nov-11	9	184	21,9	16,8
nov-11	10	185	17,4	0
nov-11	11	186	18,7	0
nov-11	12	187	20,7	0
nov-11	13	188	20,4	0
nov-11	14	189	19,4	0

nov-11	15	190	19,9	0
nov-11	16	191	22,7	0
nov-11	17	192	21,3	0
nov-11	18	193	23,1	0

Continuação...

Mes	Nº Dia do mes	2011-2012		
		Nº Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação diária ... mm ...
nov-11	19	194	25,4	57,2
nov-11	20	195	20,9	15,2
nov-11	21	196	18,8	27,2
nov-11	22	197	20,2	0,3
nov-11	23	198	21,2	0
nov-11	24	199	23,7	0
nov-11	25	200	25	0
nov-11	26	201	26,8	0
nov-11	27	202	27,2	0
nov-11	28	203	26,3	0
nov-11	29	204	27,5	0,3
nov-11	30	205	20	10,2
dez-11	1	206	17,2	0
dez-11	2	207	20,2	0
dez-11	3	208	21,7	0
dez-11	4	209	22,4	0
dez-11	5	210	24,7	0
dez-11	6	211	24,9	0
dez-11	7	212	24,1	0
dez-11	8	213	23,6	0
dez-11	9	214	23,9	0
dez-11	10	215	24,2	0
dez-11	11	216	25,8	0
dez-11	12	217	22,8	0
dez-11	13	218	19,6	0
dez-11	14	219	19,9	0
dez-11	15	220	20,3	0,5
dez-11	16	221	20,3	3
dez-11	17	222	19,8	0,3
dez-11	18	223	23,5	0
dez-11	19	224	26,6	0
dez-11	20	225	27,8	0,5
dez-11	21	226	30	0,8
dez-11	22	227	24,3	65,8
dez-11	23	228	19,7	1,3
dez-11	24	229	17,7	0,5
dez-11	25	230	19,6	0

dez-11	26	231	22,9	0
dez-11	27	232	24,9	0
dez-11	28	233	23,9	0
dez-11	29	234	24,4	0

Continuação...

Mes	Nº Dia do mes	2011-2012		
		Nº Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação diária ... mm ...
dez-11	30	235	25,6	0
dez-11	31	236	24,7	0
jan-12	1	237	24,3	0
jan-12	2	238	25,5	0
jan-12	3	239	25,4	0
jan-12	4	240	22,9	0
jan-12	5	241	25,3	0
jan-12	6	242	27,6	0
jan-12	7	243	26,7	0
jan-12	8	244	27,2	0
jan-12	9	245	31,2	0
jan-12	10	246	31,9	0
jan-12	11	247	26,2	0,5
jan-12	12	248	23,8	0,3
jan-12	13	249	21,8	0
jan-12	14	250	22,6	0
jan-12	15	251	24,4	0
jan-12	16	252	26,6	0
jan-12	17	253	28,1	0
jan-12	18	254	27,3	0
jan-12	19	255	29,6	0
jan-12	20	256	29,3	0
jan-12	21	257	26,7	0
jan-12	22	258	25,9	24,9
jan-12	23	259	27,7	0
jan-12	24	260	23,8	27,9
jan-12	25	261	22,2	0
jan-12	26	262	21,5	0
jan-12	27	263	23,6	0
jan-12	28	264	24,7	0
jan-12	29	265	28,1	0
jan-12	30	266	30,3	0,5
jan-12	31	267	27,4	20,8
fev-12	1	268	22,7	7,9
fev-12	2	269	23,8	0,3
fev-12	3	270	23,1	4,8

fev-12	4	271	26,8	0,3
fev-12	5	272	23,2	131,8
fev-12	6	273	23,8	0
fev-12	7	274	23,7	83,1
fev-12	8	275	22,4	48

Continuação...

Mes	Nº Dia do mes	2011-2012		
		Nº Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação diaria ... mm ...
fev-12	9	276	22,7	0,3
fev-12	10	277	20,4	0
fev-12	11	278	21,2	0
fev-12	12	279	23,4	0
fev-12	13	280	25,1	0
fev-12	14	281	26,7	0
fev-12	15	282	28,6	0
fev-12	16	283	29,7	0
fev-12	17	284	28,6	0
fev-12	18	285	29,8	0
fev-12	19	286	29,1	0
fev-12	20	287	23,9	18,8
fev-12	21	288	23,1	2,8
fev-12	22	289	21,2	0
fev-12	23	290	21,5	0
fev-12	24	291	21,4	0
fev-12	25	292	24,3	0
fev-12	26	293	22,1	0
fev-12	27	294	22,3	0
fev-12	28	295	19,8	23,4
fev-12	29	296	20	87,6
mar-12	1	297	19,5	33
mar-12	2	298	20,4	0,3
mar-12	3	299	22,8	0
mar-12	4	300	24,7	0
mar-12	5	301	27,2	6,9
mar-12	6	302	21,1	51,1
mar-12	7	303	24,2	0,3
mar-12	8	304	25,9	0,5
mar-12	9	305	24,7	0
mar-12	10	306	26,4	0
mar-12	11	307	28,4	0
mar-12	12	308	25,4	20,3
mar-12	13	309	20,2	26,9
mar-12	14	310	19,4	0,3
mar-12	15	311	18,2	0,3

mar-12	16	312	19	0
mar-12	17	313	21,3	0
mar-12	18	314	24,3	0
mar-12	19	315	25,9	0
mar-12	20	316	21,4	42,2

Continuação...

Mes	Nº Dia do mes	2011-2012		
		Nº Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação diária ... mm ...
mar-12	21	317	21,8	0,3
mar-12	22	318	19,2	1,5
mar-12	23	319	15,9	0,3
mar-12	24	320	17,3	0,3
mar-12	25	321	18,1	1,8
mar-12	26	322	17,5	0
mar-12	27	323	12,1	0
mar-12	28	324	13,6	0
mar-12	29	325	17,3	0
mar-12	30	326	19,2	0
mar-12	31	327	20,2	0
abr-12	1	328	20,8	0
abr-12	2	329	21,2	0,3
abr-12	3	330	22,7	0
abr-12	4	331	24,3	0
abr-12	5	332	19	33,3
abr-12	6	333	16,9	0,3
abr-12	7	334	19,1	0
abr-12	8	335	19,8	1
abr-12	9	336	19,8	0
abr-12	10	337	19,9	43,4
abr-12	11	338	20,6	0,5
abr-12	12	339	19,9	0,3
abr-12	13	340	19,6	0
abr-12	14	341	20,2	0,5
abr-12	15	342	19,3	0,3
abr-12	16	343	19,7	0
abr-12	17	344	20,1	0
abr-12	18	345	19,4	0,3
abr-12	19	346	21	0
abr-12	20	347	20,8	0,3
abr-12	21	348	16,9	3,6
abr-12	22	349	11	0
abr-12	23	350	13,9	0,3
abr-12	24	351	9,6	0
abr-12	25	352	12,1	0

abr-12	26	353	12,3	0
abr-12	27	354	10,6	0
abr-12	28	355	11,2	5,8
abr-12	29	356	10,5	0,8
abr-12	30	357	9,9	0,3

Apêndice 3 - Temperatura do ar e precipitação diária para o período de avaliação de gases 2012-2013.

Mes	N° Dia do mes	2012-2013		
		N° Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação ... mm ...
jul-12	1		23,1	0
jul-12	2		12,8	11,7
jul-12	3		8,8	0,3
jul-12	4		8,9	8,9
jul-12	5		7,4	0,3
jul-12	6		5,4	0
jul-12	7		5,3	0
jul-12	8		6,4	0
jul-12	9	1	8,2	0
jul-12	10	2	9,2	0
jul-12	11	3	5,7	0,3
jul-12	12	4	8,9	0
jul-12	13	5	10,9	0
jul-12	14	6	6,4	0
jul-12	15	7	4,6	0
jul-12	16	8	4,6	0,3
jul-12	17	9	6,3	0,3
jul-12	18	10	8,2	0
jul-12	19	11	10	0
jul-12	20	12	13	0
jul-12	21	13	13,2	0
jul-12	22	14	9,8	0
jul-12	23	15	10,4	0
jul-12	24	16	9,8	0
jul-12	25	17	5,9	0
jul-12	26	18	8,7	0
jul-12	27	19	6,4	0,3
jul-12	28	20	9,8	0
jul-12	29	21	9,1	0
jul-12	30	22	5,9	0
jul-12	31	23	8,9	0
ago-12	1	24	11,4	0
ago-12	2	25	16,1	0
ago-12	3	26	18,3	0

ago-12	4	27	12,3	0
ago-12	5	28	11,9	0
ago-12	6	29	14,3	0
ago-12	7	30	19,3	4,6

Continuação...

Mes	Nº Dia do mes	2012-2013		
		Nº Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação ... mm ...
ago-12	8	31	12,9	1
ago-12	9	32	15,7	0
ago-12	10	33	17,2	0
ago-12	11	34	21,5	0
ago-12	12	35	14	48,8
ago-12	13	36	10,7	0
ago-12	14	37	17,5	0
ago-12	15	38	17,7	18,3
ago-12	16	39	18,4	0,5
ago-12	17	40	18,1	85,1
ago-12	18	41	16,1	16,3
ago-12	19	42	13,7	5,6
ago-12	20	43	15,8	90,2
ago-12	21	44	14	0
ago-12	22	45	20,2	0
ago-12	23	46	23,4	0
ago-12	24	47	11,8	17,5
ago-12	25	48	8,3	0,3
ago-12	26	49	6,9	0
ago-12	27	50	7,1	0,3
ago-12	28	51	9,6	0,3
ago-12	29	52	12,3	0
ago-12	30	53	14,6	0,3
ago-12	31	54	16,7	0
set-12	1	55	18,6	0
set-12	2	56	19,7	0
set-12	3	57	13,5	0
set-12	4	58	17,6	0
set-12	5	59	14,8	24,6
set-12	6	60	14,8	17,8
set-12	7	61	16,6	72,1
set-12	8	62	15,7	0,3
set-12	9	63	13,8	0
set-12	10	64	13,9	0
set-12	11	65	15,4	0
set-12	12	66	16,7	0

set-12	13	67	17,9	0
set-12	14	68	18,3	0
set-12	15	69	24,4	0
set-12	16	70	22,4	0
set-12	17	71	18,6	0

Continuação...

Mes	N° Dia do mes	2012-2013		
		N° Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação ... mm ...
set-12	18	72	14,7	28,7
set-12	19	73	10,9	19,6
set-12	20	74	11,1	0,3
set-12	21	75	13,2	0,5
set-12	22	76	13,5	0
set-12	23	77	15,6	0
set-12	24	78	14,7	0,5
set-12	25	79	8,1	0
set-12	26	80	9,3	0
set-12	27	81	13,2	0
set-12	28	82	16,2	0
set-12	29	83	18,2	0
set-12	30	84	18,8	0
out-12	1	85	20,1	1
out-12	2	86	16,6	31,8
out-12	3	87	16,1	0,3
out-12	4	88	14,6	0
out-12	5	89	20,8	0
out-12	6	90	17,8	60,2
out-12	7	91	18,2	49,3
out-12	8	92	19,2	32,5
out-12	9	93	18,1	28,7
out-12	10	94	13	2,3
out-12	11	95	13,4	0
out-12	12	96	16,2	0
out-12	13	97	19,2	0
out-12	14	98	21,4	0
out-12	15	99	19,2	52,1
out-12	16	100	14,4	14
out-12	17	101	15,7	0,3
out-12	18	102	17,3	0,3
out-12	19	103	16,4	4,8
out-12	20	104	17,1	12,2
out-12	21	105	21,6	0
out-12	22	106	18,2	60,7
out-12	23	107	15,2	2,5

out-12	24	108	17,5	0
out-12	25	109	19,9	0
out-12	26	110	21,7	0
out-12	27	111	24,3	0
out-12	28	112	24,1	0

Continuação...

Mes	N° Dia do mes	2012-2013		
		N° Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação ... mm ...
out-12	29	113	21,3	28,7
out-12	30	114	20	0,3
out-12	31	115	18,9	0
nov-12	1	116	20,6	0
nov-12	2	117	22,4	0
nov-12	3	118	23,7	0
nov-12	4	119	24,1	0
nov-12	5	120	25,3	0
nov-12	6	121	26,5	0
nov-12	7	122	26,3	0
nov-12	8	123	27	0
nov-12	9	124	24,1	9,9
nov-12	10	125	16,7	6,9
nov-12	11	126	17,3	0,3
nov-12	12	127	18,1	0
nov-12	13	128	17,7	0
nov-12	14	129	18,9	0
nov-12	15	130	20,1	0
nov-12	16	131	22,4	0
nov-12	17	132	23,3	0
nov-12	18	133	22,9	4,8
nov-12	19	134	22	4,3
nov-12	20	135	24,8	0,3
nov-12	21	136	26,2	0
nov-12	22	137	21,8	14,7
nov-12	23	138	20,7	0,3
nov-12	24	139	19,9	0,3
nov-12	25	140	19,1	0
nov-12	26	141	22,3	0
nov-12	27	142	25	0
nov-12	28	143	26,4	0
nov-12	29	144	23,8	0
nov-12	30	145	23,6	0
dez-12	1	146	23,3	0
dez-12	2	147	25,8	0
dez-12	3	148	27	0

dez-12	4	149	24,8	2
dez-12	5	150	27,1	0
dez-12	6	151	26,3	205,7
dez-12	7	152	20,7	34,8
dez-12	8	153	22	0

Continuação...

Mes	N° Dia do mes	2012-2013		
		N° Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação ... mm ...
dez-12	9	154	24,8	0
dez-12	10	155	24,9	35,6
dez-12	11	156	21,8	0
dez-12	12	157	24,7	0
dez-12	13	158	24,6	0,3
dez-12	14	159	25	0
dez-12	15	160	25,4	7,4
dez-12	16	161	23,5	3,3
dez-12	17	162	17,3	9,1
dez-12	18	163	18,6	86,4
dez-12	19	164	23,1	0,5
dez-12	20	165	20,9	48,8
dez-12	21	166	21,3	0
dez-12	22	167	23,1	0
dez-12	23	168	24,9	0
dez-12	24	169	30,6	0
dez-12	25	170	27	0,8
dez-12	26	171	19,8	0,3
dez-12	27	172	19,4	0
dez-12	28	173	20,5	0
dez-12	29	174	23,7	0
dez-12	30	175	25,7	0
dez-12	31	176	24,1	44,7
jan-13	1	177	17,3	0
jan-13	2	178	17,8	0
jan-13	3	179	20,3	0
jan-13	4	180	25,9	0
jan-13	5	181	24,1	7,9
jan-13	6	182	23,9	0,3
jan-13	7	183	24,2	4,8
jan-13	8	184	25,5	0,3
jan-13	9	185	26	0
jan-13	10	186	25,3	0
jan-13	11	187	24,4	0
jan-13	12	188	23,9	0
jan-13	13	189	24,3	0

jan-13	14	190	24,4	0
jan-13	15	191	25,1	0
jan-13	16	192	25,9	0
jan-13	17	193	24,1	21,6
jan-13	18	194	23,8	0

Continuação...

Mes	N° Dia do mes	2012-2013		
		N° Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação ... mm ...
jan-13	19	195	23,1	0,3
jan-13	20	196	21,8	0
jan-13	21	197	22,7	0
jan-13	22	198	24,7	0
jan-13	23	199	26,8	0
jan-13	24	200	25,3	12,7
jan-13	25	201	20,5	6,1
jan-13	26	202	15,8	0
jan-13	27	203		0
jan-13	28	204	29,7	0
jan-13	29	205	27,2	0
jan-13	30	206	28,9	0
jan-13	31	207	25,9	0
fev-13	1	208	29,4	0
fev-13	2	209	25,1	39,9
fev-13	3	210	20,4	2,8
fev-13	4	211	19,8	0
fev-13	5	212	22,2	0
fev-13	6	213	22,8	0
fev-13	7	214	23,6	0
fev-13	8	215	25,6	0
fev-13	9	216	26,4	0
fev-13	10	217	26,2	0
fev-13	11	218	25,3	1,3
fev-13	12	219	26,7	0,3
fev-13	13	220	25,8	0,5
fev-13	14	221	25,9	0
fev-13	15	222	24,9	0
fev-13	16	223	26,9	17,8
fev-13	17	224	23,6	1
fev-13	18	225	19,1	12,7
fev-13	19	226	16,3	11,9
fev-13	20	227	17,9	2,5
fev-13	21	228	20,7	1,8
fev-13	22	229	21	0
fev-13	23	230	23,1	0

fev-13	24	231	20,8	49,8
fev-13	25	232	18,9	0,3
fev-13	26	233	17	0
fev-13	27	234	18,4	0
fev-13	28	235	20,8	0

Continuação...

Mes	N° Dia do mes	2012-2013		
		N° Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação ... mm ...
mar-13	1	236	23,3	0
mar-13	2	237	21,6	64,8
mar-13	3	238	17,7	0
mar-13	4	239	17	0,3
mar-13	5	240	18	0,3
mar-13	6	241	20,2	0
mar-13	7	242	22,3	0
mar-13	8	243	23,9	0
mar-13	9	244	24,6	4,3
mar-13	10	245	21,6	2,5
mar-13	11	246	20,4	0,8
mar-13	12	247	18	0,5
mar-13	13	248	16,2	0
mar-13	14	249	15,4	0
mar-13	15	250	16,3	0
mar-13	16	251	14,7	0,3
mar-13	17	252	14,6	0
mar-13	18	253	17,3	0
mar-13	19	254	18,1	0
mar-13	20	255	18,4	62
mar-13	21	256	20	0,8
mar-13	22	257	20,2	0,3
mar-13	23	258	21,4	0
mar-13	24	259	21,2	0
mar-13	25	260	19,8	0
mar-13	26	261	18,7	0
mar-13	27	262	17,3	0,3
mar-13	28	263	18,1	0
mar-13	29	264	20,5	0
mar-13	30	265	22,1	0
mar-13	31	266	24,1	0
abr-13	1	267	21,3	0
abr-13	2	268	21,5	0
abr-13	3	269	18,6	0,5
abr-13	4	270	16,9	0,5
abr-13	5	271	20,2	0,3

abr-13	6	272	16,9	0
abr-13	7	273	13,8	0
abr-13	8	274	16,4	0
abr-13	9	275	17,4	0
abr-13	10	276	18,9	0

Continuação...

Mes	Nº Dia do mes	2012-2013		
		Nº Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação ... mm ...
abr-13	11	277	17,8	61,2
abr-13	12	278	15,7	0,5
abr-13	13	279	12,2	0
abr-13	14	280	15,5	0
abr-13	15	281	19,4	0
abr-13	16	282	16,2	0
abr-13	17	283	16,1	0
abr-13	18	284	17,3	0
abr-13	19	285	18,7	0,3
abr-13	20	286	19,9	0
abr-13	21	287	20,1	0
abr-13	22	288	19	0
abr-13	23	289	20,3	0
abr-13	24	290	19,8	0
abr-13	25	291	20,1	0
abr-13	26	292	21,4	0
abr-13	27	293	23,3	0
abr-13	28	294	20,3	16,8
abr-13	29	295	16,9	0,3
abr-13	30	296	17,4	0,3
mai-13	1	297	17,8	9,7
mai-13	2	298	18,5	58,9
mai-13	3	299	18,1	86,9
mai-13	4	300	15,7	0,3
mai-13	5	301	15,6	0,3
mai-13	6	302	16,7	0
mai-13	7	303	12,5	0
mai-13	8	304	13,5	0
mai-13	9	305	16	0
mai-13	10	306	18,1	0
mai-13	11	307	18,3	6,1
mai-13	12	308	16	0,3
mai-13	13	309	17,4	0,3
mai-13	14	310	16,4	0,3
mai-13	15	311	10,1	8,4
mai-13	16	312	7,6	0

mai-13	17	313	9,2	0
mai-13	18	314	9,7	11,9
mai-13	19	315	11,8	1,8
mai-13	20	316	11,9	0,3
mai-13	21	317	8,6	0,3

Continuação...

Mes	N° Dia do mes	2012-2013		
		N° Dia medição	Temperatura do ar ... °C ...	Precipitação ... mm ...
mai-13	22	318	12,3	0,5
mai-13	23	319	14,3	0,3
mai-13	24	320	12,9	0,3
mai-13	25	321	12,9	0,3
mai-13	26	322	13,7	0,5
mai-13	27	323	16,3	0
mai-13	28	324	16,1	37,6
mai-13	29	325	14,3	5,3
mai-13	30	326	12,3	0
mai-13	31	327	13,6	0,3
jun-13	1	328	14,3	0,3
jun-13	2	329	12,3	0,3
jun-13	3	330	12,1	0
jun-13	4	331	13,9	0
jun-13	5	332	16,1	0
jun-13	6	333	10,5	0
jun-13	7	334	11,2	0
jun-13	8	335	12,7	0
jun-13	9	336	13,1	0
jun-13	10	337	14,6	0,3
jun-13	11	338	15,9	0,3
jun-13	12		16,6	0
jun-13	13		18,8	0
jun-13	14		14	1,5
jun-13	15		9,9	0
jun-13	16		11,2	0,3
jun-13	17		10,3	0,3
jun-13	18		10,8	0
jun-13	19		6,3	0
jun-13	20		5,2	0
jun-13	21		8,6	0
jun-13	22		9,4	0
jun-13	23		10,5	0
jun-13	24		10,2	0,3
jun-13	25		10,4	0,3
jun-13	26		8,9	0,3

jun-13	27	11	0,5
jun-13	28	12,8	0
jun-13	29	12,2	0
jun-13	30	9,4	0,3

Apêndice 4 - Fluxos de N-N₂O dos diferentes sistemas de manejo do solo e repetições de campo, para o período 2011-2012.

DATA	Sistemas de manejo																			
	CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
	..... µg N-N ₂ O m ⁻² h ⁻¹																			
10/05/11	7,7	2,9	1,2	3,9	13,5	7,7	5,4	8,9	18,7	15,1	10,7	14,8	17,2	9,0	6,4	10,8	2,5	1,9	3,5	2,6
12/05/11	7,0	-98,6	1,0	-30,2	-90,7	-93,6	12,9	-57,1	30,3	35,2	21,3	28,9	21,8	-37,7	0,8	-5,0	15,4	-108,2	1,8	-30,3
16/05/11	7,5	6,4	7,5	7,1	5,0	19,6	9,8	11,5	52,8	23,8	34,7	37,1	19,2	8,0	12,8	13,3	14,1	-0,2	12,7	8,9
19/05/11	3,5	3,1	10,8	5,8	10,9	2,8	8,5	7,4	23,2	17,9	15,3	18,8	19,8	3,5	8,4	10,6	5,4	-2,0	13,8	5,7
24/05/11	5,1	4,3	3,2	4,2	28,7	12,2	8,7	16,5	24,0	20,3	13,3	19,2	18,2	10,4	5,2	11,3	11,6	1,9	3,2	5,5
31/05/11	47,8	1224,0	538,0	603,2	21,2	20,1	3,8	15,0	15,9	170,4	23,7	70,0	26,4	9,0	15,8	17,1	55,5	27,3	1,9	28,3
06/06/11	18,3	215,4	61,3	98,3	3,8	6,7	2,4	4,3	8,6	7,0	9,3	8,3	10,3	8,2	5,9	8,1	4,5	2,8	4,0	3,8
14/06/11	33,5	7,8	14,7	18,7	26,8	13,3	12,2	17,4	19,3	11,4	7,4	12,7	7,1	6,4	12,9	8,8	61,7	10,2	10,1	27,3
16/06/11	20,8	36,4	22,7	26,7	61,4	28,6	69,2	53,1	11,9	10,1	8,1	10,0	8,8	11,9	16,8	12,5	145,8	53,7	70,7	90,1
20/06/11	101,1	337,8	600,9	346,6	398,0	494,6	145,7	346,1	330,0	144,3	540,9	338,4	591,3	109,9	802,1	501,1	794,5	630,0	519,4	647,9
24/06/11	25,5	15,5	5,6	15,5	78,9	42,0	237,2	119,4	28,9	50,3	129,9	69,7	40,3	21,3	74,3	45,3	346,8	136,8	222,2	235,3
01/07/11	8,7	35,1	61,7	35,2	33,1	22,7	64,4	40,1	13,8	65,7	60,3	46,6	134,1	129,5	377,4	213,7	29,6	50,2	26,0	35,3
05/07/11	4,3	42,7	36,4	27,8	13,6	7,9	10,0	10,5	8,3	15,4	17,3	13,6	44,8	68,9	97,4	70,3	26,9	44,9	15,9	29,2
14/07/11	6,4	9,9	9,1	8,4	50,3	2,3	75,4	42,7	16,3	11,6	57,2	28,4	14,5	11,2	15,7	13,8	89,7	10,6	96,0	65,5
18/07/11	59,0	107,9	35,5	67,5	209,7	169,6	111,6	163,7	50,4	43,5	110,8	68,3	649,8	50,2	367,8	356,0	747,8	206,2	310,5	421,5
03/08/11	7,6	7,6	7,6	7,6	181,4	212,7	135,4	176,5	315,5	124,4	131,6	190,5	159,0	85,4	307,4	184,0	263,8	30,5	76,0	123,4

Continuação...

DATA	Sistemas de manejo																			
	CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
	..... µg N-N ₂ O m ⁻² h ⁻¹																			
05/08/11	8,4	160,2	12,8	60,4	35,2	23,8	26,0	28,3	17,3	8,4	38,1	21,3	168,6	28,3	62,6	86,5	123,6	21,7	34,4	59,9
08/08/11	20,0	34,5	47,5	34,0	21,2	55,8	66,3	47,8	34,0	8,2	15,0	19,1	51,5	37,7	45,1	44,8	66,9	61,5	75,5	68,0
12/08/11	34,3	22,4	47,2	34,7	49,6	32,6	109,4	63,9	27,1	25,8	51,3	34,7	23,4	10,5	46,7	26,9	79,0	118,2	93,2	96,8
21/08/11	17,2	84,0	260,3	120,5	74,1	16,6	54,4	48,4	44,4	31,3	21,7	32,5	375,9	110,9	203,1	230,0	150,3	94,3	69,5	104,7
26/08/11	-12,9	0,0	20,5	2,5	14,7	9,1	24,2	16,0	13,2	9,8	32,1	18,4	42,7	16,0	52,1	37,0	14,4	29,5	30,9	24,9
29/08/11	-0,9	1,8	71,9	24,3	31,6	24,2	-6,0	16,6	31,0	-14,5	10,1	8,9	46,1	11,2	48,0	35,1	16,6	75,8	41,4	44,6
03/09/11	-0,6	3,4	10,6	4,5	3,9	14,0	3,3	7,1	7,0	1,2	15,6	7,9	41,0	7,3	31,0	26,4	22,4	18,4	24,3	21,7
12/09/11	-2,2	14,8	-0,5	4,0	-0,3	3,4	5,0	2,7	0,7	-14,0	-5,2	-6,2	-0,5	0,2	10,2	3,3	3,8	36,5	15,2	18,5
14/09/11	22,0	13,7	-1,9	11,3	0,2	8,6	-2,5	2,1	2,0	5,9	3,0	3,6	5,7	-25,8	23,9	1,2	-1,9	-1,4	-5,6	-3,0
21/09/11	7,3	-0,1	3,1	3,4	6,8	0,5	7,1	4,8	2,7	-2,0	2,8	1,2	1,6	-0,4	20,4	7,2	7,9	0,9	-1,0	2,6
23/09/11	8,2	-1,3	0,0	2,3	-1,4	-7,4	3,7	-1,7	8,8	-2,2	-1,2	1,8	2,4	-2,1	13,6	4,6	-2,6	-4,2	1,9	-1,6
29/09/11	-7,2	-2,6	2,6	-2,4	8,9	-3,5	3,7	3,0	8,8	0,0	0,7	3,2	13,6	-2,6	0,3	3,8	-3,1	5,3	-1,9	0,1
03/10/11	-4,7	-6,8	-17,6	-9,7	11,0	0,0	-8,5	0,9	24,8	20,0	8,7	17,8	4,6	2,6	15,6	7,6	9,8	13,5	3,0	8,8
14/10/11	15,0	10,6	5,7	10,4	88,3	14,8	5,0	36,0	61,7	19,6	79,0	53,4	274,0	20,9	42,3	112,4	-1,2	89,7	37,2	41,9
17/10/11	5,8	14,1	12,9	11,0	3,3	0,3	1,4	1,7	10,2	0,4	1,9	4,2	18,1	5,4	8,4	10,6	1,3	5,0	2,3	2,9
02/11/11	9,0	-0,9	0,0	2,7	2,2	-2,8	-18,5	-6,3	1,3	2,8	-0,3	1,2	3,0	2,0	18,4	7,8	11,5	-3,8	-3,0	1,6
21/11/11	14,8	68,4	27,4	36,9	6,5	7,7	16,0	10,1	23,6	9,1	23,1	18,6	46,5	34,2	27,2	36,0	2,2	3,1	8,5	4,6
30/11/11	19,8	3,2	10,8	11,3	-6,0	0,2	0,7	-1,7	13,5	7,6	1,2	7,4	21,0	8,0	15,0	14,7	14,9	8,4	10,5	11,3
07/12/11	-3,9	7,4	-0,8	0,9	-0,6	-6,7	5,8	-0,5	-0,6	-0,3	3,0	0,7	2,7	2,6	2,5	2,6	0,9	9,9	9,1	6,6

Continuação...

DATA	Sistemas de manejo																			
	CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
	..... µg N-N ₂ O m ⁻² h ⁻¹																			
10/12/11	-5,5	8,4	-5,6	-0,9	6,9	-0,3	8,9	5,2	3,0	-0,7	-3,8	-0,5	3,0	7,1	13,0	7,7	-4,3	15,1	-1,8	3,0
12/12/11	5,9	7,4	0,8	4,7	6,7	6,1	3,0	5,3	13,7	-0,6	4,2	5,8	-0,1	8,3	4,0	4,1	-4,4	28,6	-2,3	7,3
15/12/11	-4,5	7,4	-0,3	0,9	0,0	1,9	3,1	1,7	3,0	3,7	-0,8	2,0	6,3	7,0	-6,1	2,4	-5,8	3,2	0,3	-0,8
20/12/11	0,5	9,9	2,2	4,2	9,3	10,5	4,3	8,1	9,0	7,7	4,0	6,9	14,0	-1,8	0,6	4,2	15,4	37,9	-1,3	17,3
24/12/11	50,1	82,3	55,2	62,5	48,6	16,1	34,0	32,9	7,4	2,1	41,9	17,1	6,1	30,0	17,2	17,8	31,2	86,2	24,2	47,2
07/01/12	12,7	1,6	0,5	4,9	5,4	0,5	0,1	2,0	4,9	1,5	0,4	2,2	9,9	-2,1	-3,2	1,5	4,8	4,9	0,8	3,5
10/01/12	-0,7	1,0	-3,6	-1,1	5,6	-1,8	0,5	1,4	-1,6	-0,2	19,4	5,9	10,3	3,7	17,9	10,6	5,7	-0,8	-11,5	-2,2
14/01/12	-3,5	0,8	8,9	2,1	0,8	-3,1	-1,3	-1,2	-16,8	3,4	3,3	-3,4	3,4	-3,2	4,4	1,5	7,6	-3,3	6,8	3,7
17/01/12	-2,5	0,2	4,3	0,7	1,1	0,7	4,1	2,0	0,9	-2,9	2,4	0,1	2,1	7,9	-0,6	3,1	15,2	1,4	3,5	6,7
21/01/12	2,7	12,0	0,6	5,1	2,2	1,3	14,3	5,9	3,7	11,1	9,8	8,2	9,8	4,0	11,0	8,3	3,1	5,8	15,1	8,0
26/01/12	7,1	15,5	4,9	9,2	3,9	6,2	6,8	5,6	8,3	2,3	10,1	6,9	3,2	4,9	5,4	4,5	9,6	7,4	9,7	8,9
15/02/12	1,5	74,8	26,0	34,1	2,1	5,8	6,1	4,6	29,0	46,5	35,8	37,1	86,6	32,2	87,2	68,7	32,4	23,1	14,8	23,4
24/02/12	-11,7	13,8	14,3	5,4	4,5	-1,5	-5,7	-0,9	9,3	15,0	11,5	11,9	2,3	14,3	8,9	8,5	2,5	4,9	8,0	5,1
09/03/12	3,6	14,6	5,9	8,0	2,5	18,3	11,8	10,9	4,5	-1,0	4,2	2,5	14,5	22,2	11,2	16,0	2,1	14,1	16,7	11,0
28/03/12	-12,3	7,5	11,9	2,4	-9,7	7,1	7,2	1,5	-2,2	6,4	-2,5	0,6	5,5	2,0	-1,0	2,1	5,4	7,3	-1,5	3,7
16/04/12	19,2	-8,2	15,5	8,8	24,9	68,2	23,2	38,7	29,1	36,3	28,5	31,3	19,8	6,0	37,6	21,1	3,4	3,1	10,1	5,5
23/04/12	16,1	13,8	2,3	10,8	14,2	31,3	15,1	20,2	16,8	-3,4	13,9	9,1	10,5	10,1	14,0	11,5	-11,0	0,8	1,8	-2,8

Apêndice 5 - Fluxos de C-CH₄ dos diferentes sistemas de manejo do solo e repetições de campo, para o período 2011-2012.

DATA	Sistemas de manejo																			
	CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
	..... µg C-CH ₄ m ⁻² h ⁻¹																			
10/05/11	-5,1	-11,7	-23,7	-13,5	-18,3	-17,0	-22,6	-19,3	-15,7	-13,2	-20,0	-16,3	-6,0	-1,4	-6,6	-4,7	-3,7	-1,4	-8,0	-4,4
12/05/11	-29,4	-6,5	-9,3	-15,1	-4,9	-30,3	-0,7	-12,0	-2,0	13,4	-6,4	1,6	-1,7	-128,6	3,7	-42,2	-12,7	-7,0	-6,4	-8,7
16/05/11	-14,4	-14,5	-10,5	-13,1	-12,8	-19,0	-18,5	-16,8	-16,1	-7,2	-16,8	-13,4	-3,1	-12,8	-17,5	-11,1	-9,9	-10,2	-13,3	-11,1
19/05/11	-5,7	-15,2	-10,2	-10,4	-3,1	2,5	-19,1	-6,5	-8,5	-13,2	-12,0	-11,2	10,6	-18,1	-14,2	-7,2	4,0	-7,5	-11,3	-4,9
24/05/11	-7,3	-0,6	-6,1	-4,6	-7,7	-6,8	-1,0	-5,2	-7,0	17,6	-0,9	3,2	-6,4	-7,8	-21,4	-11,9	-8,8	12,7	-7,9	-1,4
31/05/11	-13,2	-9,3	-6,1	-9,5	-15,2	-9,7	-1,0	-8,7	11,0	31,3	-0,9	13,8	3,2	-20,0	-21,4	-12,7	-0,8	-3,5	-7,9	-4,1
06/06/11	-12,1	-3,8	-0,3	-5,4	-5,1	18,9	-5,9	2,6	-2,7	-6,5	-7,1	-5,4	-7,8	1,7	-2,7	-2,9	-5,7	-1,5	-6,2	-4,4
14/06/11	19,7	-9,8	-15,5	-1,8	9,2	-2,3	-18,7	-3,9	-12,9	-2,7	-14,0	-9,9	-16,1	-10,6	-11,8	-12,8	25,1	14,8	-36,0	1,3
16/06/11	-2,9	-18,8	7,1	-4,9	-4,3	-17,3	13,8	-2,6	-5,9	-47,6	-28,4	-27,3	-17,2	-67,1	-31,1	-38,5	-5,1	10,0	2,8	2,5
20/06/11	35,1	-12,7	-26,4	-1,3	-9,1	-20,2	-7,3	-12,2	36,9	2,1	21,0	20,0	32,5	-56,9	-32,9	-19,1	21,2	3,0	6,4	10,2
24/06/11	34,0	71,3	108,6	71,3	5,4	208,0	-33,4	60,0	-18,1	-7,5	8,9	-5,6	-14,6	-5,3	40,0	6,7	-22,8	46,7	-0,2	7,9
01/07/11	-9,2	-8,6	29,6	3,9	-2,7	-29,0	-5,0	-12,2	-18,2	0,8	13,5	-1,3	-20,6	-10,1	31,2	0,2	-10,7	-11,4	-17,2	-13,1
05/07/11	-20,1	45,6	-23,5	0,7	-25,8	-9,9	-10,1	-15,3	-13,4	2,7	31,1	6,8	-19,4	19,1	17,8	5,8	-65,2	21,0	-11,3	-18,5
14/07/11	-5,6	18,8	17,5	10,2	65,4	-43,3	8,7	10,3	-14,8	90,4	-21,2	18,1	-2,7	-30,1	-59,1	-30,6	-14,2	19,2	-12,8	-2,6
18/07/11	-18,3	-45,0	1,4	-20,6	-48,9	-3,4	32,7	-6,5	-18,2	-51,7	-46,6	-38,8	4,1	41,2	-17,5	9,3	-6,2	-10,3	-13,5	-10,0
03/08/11	44,6	44,6	44,6	44,6	38,4	-47,4	-7,2	-5,4	32,8	47,6	-4,4	25,3	-8,8	18,6	37,5	15,8	2,9	-13,5	-18,7	-9,8

Continuação...

DATA	Sistemas de manejo																			
	CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
	..... µg C-CH ₄ m ⁻² h ⁻¹																			
05/08/11	-23,2	-64,1	119,1	10,6	-26,3	135,8	3,8	37,7	7,8	59,6	-6,6	20,3	-46,4	-55,8	-83,5	-61,9	10,4	-34,4	-8,1	-10,7
08/08/11	-48,8	-17,5	21,9	-14,8	-143,3	-1,3	-23,8	-56,1	-2,6	41,0	-49,3	-3,6	7,4	33,4	-12,5	9,5	-49,7	5,9	20,6	-7,7
12/08/11	16,2	47,7	16,5	26,8	-27,9	6,9	57,3	12,1	-44,5	60,6	-0,5	5,2	-48,8	-44,3	35,4	-19,2	-4,7	31,2	8,6	11,7
21/08/11	-23,2	-17,8	29,3	-3,9	36,0	8,8	2,7	15,8	23,2	46,3	-48,7	6,9	-72,5	-16,9	-22,7	-37,4	24,0	-16,1	12,4	6,8
26/08/11	-56,1	-26,5	-19,2	-33,9	-2,8	-67,4	13,4	-18,9	-12,6	22,5	29,5	13,1	40,3	-1,4	-2,1	12,3	29,0	-22,2	0,1	2,3
29/08/11	-50,8	-14,5	1,8	-21,2	-63,9	-3,3	-7,0	-24,7	-17,7	-31,3	48,4	-0,2	-27,3	4,7	20,3	-0,8	0,8	3,4	4,7	3,0
03/09/11	17,5	-4,4	3,8	5,6	-10,7	-13,1	-0,9	-8,2	-59,9	-20,3	2,9	-25,8	46,7	-7,0	-25,4	4,8	-28,5	-8,5	26,2	-3,6
12/09/11	9,8	-25,1	-52,0	-22,4	10,5	-26,4	-63,5	-26,5	-37,9	-58,6	-74,7	-57,1	-22,3	11,0	-46,3	-19,2	16,5	81,5	-10,8	29,1
14/09/11	13,8	19,2	7,1	13,4	-44,4	0,2	-5,8	-16,7	-60,3	-11,1	-25,9	-32,4	3,0	-70,8	11,5	-18,8	-30,0	-19,4	-17,3	-22,2
21/09/11	33,7	-12,2	2,5	8,0	37,4	-29,1	-19,8	-3,8	-64,1	-11,5	-30,0	-35,2	15,3	-7,3	-41,1	-11,1	14,6	-9,0	6,2	3,9
23/09/11	-7,1	-24,0	-7,3	-12,8	-27,2	-22,9	-7,5	-19,2	-47,6	-3,1	-17,8	-22,8	-10,0	-24,6	-56,3	-30,3	9,6	-22,9	14,2	0,3
29/09/11	-11,0	-20,8	-16,2	-16,0	-11,8	-16,4	-27,0	-18,4	-3,5	-12,6	-1,5	-5,8	-66,3	-6,6	-41,6	-38,1	-33,4	-24,2	-36,9	-31,5
03/10/11	33,9	-23,9	-44,6	-11,5	-24,0	-42,3	-39,3	-35,2	-20,0	36,5	-55,3	-12,9	-22,8	0,1	-23,5	-15,4	-72,8	-8,1	-46,6	-42,5
14/10/11	-73,9	-1,4	12,9	-20,8	28,6	5,0	-11,1	7,5	-30,1	-6,9	-25,3	-20,8	-22,1	-3,1	-40,0	-21,7	5,2	-3,5	14,6	5,4
17/10/11	-49,5	-7,5	2,5	-18,2	22,3	-14,3	-16,0	-2,7	-26,6	-7,9	-9,2	-14,6	-2,9	-6,1	-32,1	-13,7	-6,4	-7,6	-17,2	-10,4
02/11/11	18,9	-15,3	-36,7	-11,1	-18,6	14,4	-63,4	-22,5	-25,5	-4,6	-65,6	-31,9	2,3	8,9	8,3	6,5	7,5	-29,3	-54,8	-25,5
21/11/11	3,2	27,8	4,8	11,9	-20,8	-70,8	-4,2	-31,9	-35,7	-8,4	2,8	-13,8	-16,2	15,7	-2,8	-1,1	-7,7	1,6	-11,7	-5,9
30/11/11	-7,5	-57,0	1,5	-21,0	-16,5	11,8	-20,1	-8,3	-30,2	5,7	-7,6	-10,7	-22,2	12,4	-12,9	-7,6	-3,0	-33,1	-13,0	-16,4
07/12/11	-83,2	-17,7	-46,0	-49,0	17,4	-34,3	-27,9	-14,9	-8,1	1,4	3,0	-1,2	29,0	-12,2	-34,9	-6,0	20,4	3,8	-58,3	-11,4

Continuação...

DATA	Sistemas de manejo																			
	CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
	..... µg C-CH ₄ m ⁻² h ⁻¹																			
10/12/11	-11,3	-6,8	-67,7	-28,6	-48,5	-12,7	0,1	-20,3	4,7	-6,3	19,2	5,9	-6,0	-4,6	33,6	7,6	-75,9	-12,8	-13,2	-33,9
12/12/11	-22,1	-12,5	-13,1	-15,9	9,5	6,7	-22,2	-2,0	-33,6	-41,5	-10,5	-28,5	-56,3	-28,2	-23,3	-35,9	15,8	11,9	-19,6	2,7
15/12/11	67,6	-13,0	-38,5	5,4	-41,5	-24,2	-3,5	-23,1	-10,6	20,2	-43,7	-11,4	34,8	-2,6	-41,5	-3,1	20,9	-17,4	3,9	2,5
20/12/11	-28,3	3,5	-17,9	-14,2	-48,5	6,3	-27,5	-23,2	-3,1	36,1	-16,0	5,7	13,8	-161,7	-12,6	-53,5	50,2	-37,3	-35,4	-7,5
24/12/11	-32,5	-8,9	-5,6	-15,7	-37,1	-35,1	-33,1	-35,1	27,4	-10,0	75,4	30,9	17,4	-6,3	-11,5	-0,2	-71,6	-10,1	-17,0	-32,9
07/01/12	26,7	-9,0	-40,2	-7,5	7,1	-8,5	-28,5	-10,0	10,9	-12,3	-30,8	-10,7	26,7	-16,3	-24,6	-4,7	-34,8	-12,8	-8,2	-18,6
10/01/12	37,8	-31,3	-17,3	-3,6	-38,2	-22,1	-28,8	-29,7	17,6	-1,5	-15,5	0,2	-5,3	-1,5	-16,7	-7,8	3,0	-9,6	-37,3	-14,6
14/01/12	-70,0	-3,7	-10,2	-28,0	29,2	-10,0	-42,1	-7,6	-82,7	6,1	21,0	-18,6	26,0	-27,7	3,3	0,6	30,7	-12,9	-28,3	-3,5
17/01/12	-7,4	-13,8	9,7	-3,8	-28,9	-9,5	-62,3	-33,6	-46,6	-10,3	-41,3	-32,7	23,3	4,7	-18,5	3,2	54,8	-2,8	-2,6	16,5
21/01/12	-11,5	-6,9	-80,1	-32,8	-9,5	6,7	-10,8	-4,5	-12,6	5,0	-84,4	-30,7	-12,3	-23,9	34,2	-0,7	-19,2	-31,0	39,4	-3,6
26/01/12	2,3	-44,9	-18,4	-20,3	-12,1	-27,9	-13,7	-17,9	-11,3	-36,0	5,7	-13,9	-3,4	-9,0	17,4	1,7	-14,8	-51,7	-16,9	-27,8
15/02/12	-50,6	-17,2	1,6	-22,1	21,2	-13,2	-27,8	-6,6	-38,1	-2,3	6,6	-11,3	-43,6	-1,9	2,6	-14,3	35,1	-14,5	12,2	10,9
24/02/12	70,5	-1,1	-26,0	14,4	-98,9	-39,0	-68,7	-68,9	145,4	3,6	-88,9	20,0	-70,7	-15,3	-33,4	-39,8	22,7	-18,4	-1,1	1,0
09/03/12	-28,2	-58,9	-11,8	-33,0	-5,4	40,6	-15,4	6,6	2,3	-20,9	-5,4	-8,0	-0,1	-35,4	-5,9	-13,8	-6,6	-25,2	-6,5	-12,8
28/03/12	31,6	-10,0	-81,2	-19,9	26,2	-10,5	49,5	21,7	-136,4	96,1	-113,1	-51,2	-16,9	-15,3	-107,2	-46,5	6,9	-4,2	-84,8	-27,3
16/04/12	-2,8	-31,9	-1,3	-12,0	-5,8	30,6	-13,0	3,9	-10,3	-61,7	-12,1	-28,0	-12,1	19,9	-10,2	-0,8	-2,8	31,2	-4,5	8,0
23/04/12	-35,7	0,5	-10,3	-15,2	6,8	-6,5	-5,3	-1,7	-22,7	36,2	73,0	28,8	-76,0	-11,7	2,5	-28,4	-82,2	55,8	1,3	-8,4

Apêndice 6 - Fluxos de N-N₂O dos diferentes sistemas de manejo do solo e repetições de campo, para o período 2012-2013.

DATA	Sistemas de manejo																			
	CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
	..... µg N-N ₂ O m ⁻² h ⁻¹																			
09/07/12	-5,5	6,9	7,0	2,8	13,5	7,9	168,8	63,4	7,2	12,4	15,0	11,5	-0,6	0,1	0,5	0,0	180,9	128,5	37,3	115,5
26/07/12	0,0	4,7	-0,4	1,5	0,3	4,6	13,1	6,0	3,3	2,8	-8,1	-0,7	-3,1	0,0	-5,6	-2,9	3,3	3,3	5,6	4,1
09/08/12	-2,1	11,8	3,4	4,4	5,5	2,0	12,1	6,5	3,5	-0,9	1,7	1,4	3,2	2,4	0,3	2,0	3,7	11,7	10,0	8,5
23/08/12	83,0	12,5	4,4	33,3	178,2	115,6	17,4	103,7	834,0	1334,9	216,8	795,3	79,3	33,9	21,5	44,9	3,9	86,9	488,9	193,3
04/09/12	3,1	-3,3	-3,1	-1,1	67,4	35,2	94,4	65,7	48,1	41,4	57,9	49,1	3,5	2,3	-1,5	1,4	38,6	82,7	42,1	54,5
20/09/12	-6,3	15,3	36,4	15,1	9,3	4,6	-3,9	3,3	138,2	85,5	54,1	92,6	8,7	3,2	33,8	15,2	41,2	53,5	23,3	39,3
11/10/12	4,4	0,2	0,1	1,6	16,6	13,9	8,1	12,8	198,0	226,5	302,4	242,3	71,4	388,4	78,7	179,5	3,5	34,0	47,6	28,3
26/10/12	26,6	-3,0	-9,1	4,8	16,6	14,0	23,2	17,9	34,2	32,2	31,0	32,5	2,9	11,4	1,4	5,2	17,2	70,3	66,5	51,3
03/11/12	-0,2	9,5	8,6	6,0	7,3	41,7	74,7	41,3	12,7	18,4	23,7	18,2	3,9	8,1	16,9	9,6	86,9	22,2	28,8	46,0
08/11/12	-17,6	2,2	-1,2	-5,5	-0,8	26,3	14,2	13,2	13,1	6,4	11,3	10,3	3,5	5,9	1,5	3,6	2,5	2,2	57,7	20,8
13/11/12	1,9	15,8	6,0	7,9	1,9	23,7	7,3	10,9	6,9	17,5	39,8	21,4	7,3	5,3	3,9	5,5	-0,5	21,4	60,4	27,1
21/11/12	4,2	6,2	10,5	7,0	5,8	22,1	6,7	11,5	7,9	24,7	11,8	14,8	3,3	9,9	2,4	5,2	2,4	6,9	40,1	16,5
24/12/12	31,8	55,3	64,8	50,7	8,8	22,8	14,1	15,2	21,9	58,6	29,6	36,7	53,9	19,5	31,0	34,8	3,7	5,6	27,2	12,2
28/12/12	14,0	4,2	3,9	7,4	-2,2	18,9	14,3	10,3	1,6	4,0	3,2	2,9	11,3	5,0	7,3	7,9	13,2	6,0	33,1	17,4
03/01/13	3,1	2,9	13,3	6,4	7,7	4,4	2,3	4,8	5,0	2,9	11,9	6,6	9,4	2,0	9,2	6,8	9,1	18,7	36,6	21,5
05/01/13	5,4	8,2	7,3	7,0	6,5	13,4	8,9	9,6	12,5	39,3	13,6	21,8	9,9	4,2	7,8	7,3	11,1	63,0	111,6	61,9

Continuação...

DATA	Sistemas de manejo																			
	CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
	..... µg N-N ₂ O m ⁻² h ⁻¹																			
09/01/13	-8,1	6,7	10,6	3,1	6,1	4,7	1,5	4,1	9,5	6,7	111,8	42,7	5,1	7,2	9,0	7,1	16,1	8,1	62,7	29,0
19/01/13	0,1	4,0	5,8	3,3	1,6	6,9	1,9	3,5	7,2	2,2	7,5	5,6	11,8	5,5	-0,1	5,7	6,1	13,5	12,3	10,6
26/01/13	0,3	-0,2	-1,7	-0,5	-5,0	0,4	2,5	-0,7	13,8	2,9	4,8	7,2	10,6	18,2	7,4	12,1	2,5	15,5	1,3	6,4
02/02/13	13,9	22,1	15,9	17,3	70,6	6,8	85,2	54,2	17,6	97,9	28,3	47,9	59,2	33,4	15,5	36,1	7,1	-6,1	21,0	7,3
16/02/13	3,9	-1,3	4,9	2,5	0,2	-2,0	4,3	0,8	2,0	2,1	1,6	1,9	-0,3	1,9	3,5	1,7	0,6	1,1	2,7	1,5
04/03/13	6,7	24,1	6,3	12,4	21,5	16,1	17,2	18,3	22,1	-2,7	6,9	8,7	-1,8	4,7	4,0	2,3	35,2	6,9	14,0	18,7
22/03/13	9,9	88,4	39,8	46,0	542,1	159,1	394,9	365,4	152,5	279,4	50,3	160,7	91,3	95,2	44,4	77,0	712,4	34,8	76,8	274,7
09/04/13	16,6	7,8	9,2	11,2	5,4	15,8	8,6	9,9	10,2	5,7	16,2	10,7	-5,5	3,9	31,2	9,9	5,1	0,6	8,2	4,7
24/04/13	-2,0	6,9	17,3	7,4	15,6	19,1	0,6	11,8	8,3	6,0	12,7	9,0	-1,8	2,1	8,0	2,8	24,6	-1,3	28,1	17,1
23/05/13	15,7	12,6	22,9	17,0	59,3	9,3	16,1	28,2	37,3	39,6	16,0	31,0	19,4	16,8	20,9	19,0	187,3	39,6	79,9	102,3
11/06/13	4,6	18,9	13,3	12,3	4,6	70,1	37,6	37,5	13,5	33,9	18,4	21,9	32,3	18,7	24,9	25,3	16,0	20,0	7,0	14,3

Apêndice 7 - Fluxos de C-CH₄ dos diferentes sistemas de manejo do solo e repetições de campo, para o período 2012-2013.

DATA	Sistemas de manejo																			
	CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
	..... µg C-CH ₄ m ⁻² h ⁻¹																			
09/07/12	-10,3	-13,0	19,4	-1,3	3,2	-8,6	-16,2	-7,2	-5,1	-37,2	-12,2	-18,2	-9,2	-6,6	-0,4	-5,4	-3,5	-16,5	-22,1	-14,0
26/07/12	34,0	-3,0	112,4	47,8	107,2	-20,0	28,9	38,7	36,2	-22,4	54,4	22,8	55,6	-62,1	54,4	16,0	-96,9	-26,5	28,7	-31,5
09/08/12	-11,7	-6,1	5,6	-4,1	-14,8	-12,4	41,2	4,7	-6,8	82,4	33,9	36,5	-30,8	10,9	17,2	-0,9	28,4	12,8	37,8	26,3
23/08/12	-3,4	-4,6	-10,3	-6,1	-89,7	2,6	-25,0	-37,4	46,8	-13,9	132,9	55,3	-43,5	-5,1	-41,1	-29,9	-47,2	14,4	-26,2	-19,7
04/09/12	-10,4	-36,6	-9,2	-18,7	-17,8	-13,4	-2,3	-11,2	-8,5	-5,2	6,3	-2,5	1,1	-8,4	-7,9	-5,1	-1,6	29,2	-12,2	5,1
20/09/12	2,3	26,5	48,1	25,6	9,5	16,2	37,3	21,0	-0,2	-15,9	-11,4	-9,2	-31,7	-6,8	7,3	-10,4	-38,3	34,4	-39,4	-14,4
11/10/12	-7,1	-5,3	-7,6	-6,7	-7,4	-14,6	-10,4	-10,8	12,2	-10,3	-9,8	-2,6	2,8	-4,2	-6,0	-2,5	-1,4	-2,8	-7,6	-3,9
26/10/12	49,7	14,4	-24,7	13,1	-20,1	-3,1	-14,7	-12,6	-6,2	-16,6	52,0	9,7	-13,4	-4,2	19,1	0,5	-83,1	-3,8	62,1	-8,2
03/11/12	-0,1	-0,1	3,3	1,0	-15,0	8,2	-37,6	-14,8	-8,4	5,1	25,7	7,5	-14,1	-61,8	9,3	-22,2	-2,8	13,5	-30,0	-6,4
08/11/12	-71,8	24,0	-42,8	-30,2	5,8	-30,5	-8,0	-10,9	8,0	11,6	11,4	10,4	2,9	-2,2	-20,0	-6,4	-0,6	-47,1	-3,5	-17,1
13/11/12	-9,8	-4,2	-7,7	-7,2	-9,7	188,5	-41,3	45,8	-8,6	-4,6	-6,0	-6,4	-11,2	-14,7	-23,0	-16,3	-17,9	23,2	-14,3	-3,0
21/11/12	-10,5	-27,6	-29,7	-22,6	-5,5	12,9	-12,6	-1,7	-6,6	11,2	8,5	4,4	-10,9	-51,3	-10,7	-24,3	-11,2	-15,1	21,3	-1,7
24/12/12	-0,1	4,7	-14,4	-3,3	-7,9	-8,7	-9,8	-8,8	-8,2	-13,0	-27,8	-16,3	-6,6	-1,6	-9,1	-5,8	-5,7	-7,7	-11,2	-8,2
28/12/12	11,9	-38,5	-15,5	-14,0	-15,1	11,6	-41,4	-15,0	-9,0	-26,9	-15,5	-17,1	-23,9	-3,8	-42,3	-23,3	-1,2	-12,9	-33,7	-16,0
03/01/13	-29,8	-12,3	-3,0	-15,0	-23,2	-11,9	-6,3	-13,8	58,2	-20,9	-4,1	11,1	19,2	-11,1	-11,3	-1,0	-15,3	-11,1	-13,6	-13,3
05/01/13	-8,8	-6,4	5,8	-3,1	-15,2	7,9	-44,1	-17,1	-1,7	-11,5	-43,9	-19,0	7,8	-14,1	-1,0	-2,4	5,6	-14,1	-7,8	-5,4

Continuação...

DATA	Sistemas de manejo																			
	CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média	Repetições			Média
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
	..... µg C-CH ₄ m ⁻² h ⁻¹																			
09/01/13	-45,3	-0,9	-39,4	-28,5	-48,6	0,9	-16,0	-21,2	-39,8	-23,2	-26,2	-29,7	-15,6	-81,2	-14,9	-37,2	27,1	-20,8	16,8	7,7
19/01/13	-9,5	-17,8	-67,7	-31,6	-32,0	-26,5	-69,3	-42,6	15,6	-38,8	-4,9	-9,4	-10,9	-50,1	-2,1	-21,1	1,5	-5,9	-8,3	-4,2
26/01/13	-38,3	-17,5	-2,7	-19,5	15,5	-1,1	-11,7	0,9	20,4	-67,9	-33,4	-27,0	-15,1	-3,5	-60,1	-26,2	67,6	15,3	-2,6	26,8
02/02/13	1,5	-51,6	-2,5	-17,5	-36,3	-12,7	-64,9	-38,0	-18,0	18,8	3,7	1,5	2,5	-85,2	14,8	-22,7	-19,4	19,9	20,4	7,0
16/02/13	-29,0	-31,7	141,4	26,9	-16,5	-6,7	-15,8	-13,0	-8,5	-0,3	7,4	-0,5	-33,8	-47,2	-4,9	-28,7	-24,0	-6,0	-18,2	-16,1
04/03/13	5,7	1,5	3,6	3,6	41,8	-1,3	1,4	14,0	127,2	-16,3	17,4	42,7	33,1	-7,4	-18,9	2,3	1,9	-7,8	-29,1	-11,7
22/03/13	4,6	-8,3	-12,6	-5,4	-5,0	-10,9	-24,7	-13,5	-2,6	-2,1	-20,6	-8,4	-4,3	-19,3	-5,6	-9,7	3,0	-14,6	-0,2	-3,9
09/04/13	113,4	-6,2	-1,8	35,2	-58,4	74,8	-19,8	-1,1	-16,0	11,1	-23,8	-9,5	-63,9	-36,2	-11,2	-37,1	-5,2	-19,6	-5,9	-10,2
24/04/13	-30,1	-17,1	-14,3	-20,5	-16,0	-21,7	-32,4	-23,4	-5,2	-4,8	-23,4	-11,1	1,9	-45,0	-20,4	-21,2	13,9	-8,0	5,3	3,7
23/05/13	3,2	1,6	-7,3	-0,9	7,2	-6,6	-13,6	-4,3	10,1	-6,6	-11,3	-2,6	-4,1	-12,2	-18,9	-11,7	-5,7	-1,5	-9,0	-5,4
11/06/13	-51,1	5,3	14,0	-10,6	-4,3	-21,4	-14,2	-13,3	-12,8	0,9	-6,7	-6,2	-19,9	19,3	-12,6	-4,4	8,3	17,7	0,5	8,8

Apêndice 8 - Estoques de COS em uma massa de solo de 2153 Mg ha⁻¹ (equivalente a 0 a 18 cm) para os anos 2003 e 2011 e taxa de variação anual para os diferentes sistemas de manejo e repetições de campo.

Sistema de manejo	Repetições	Estoque de COS		Taxa de acúmulo de COS
		2003	2011	Mg C ha ⁻¹ ano ⁻¹
		... Mg C ha ⁻¹ ...		
CCPC	1	36,57	34,08	-0,31
CCPC	2	37,14	35,88	-0,16
CCPC	3	37,71	37,69	0,00
CCPD	1	36,31	36,62	0,04
CCPD	2	37,04	40,86	0,48
CCPD	3	41,65	43,91	0,28
CPPC	1	36,62	40,28	0,46
CPPC	2	35,82	38,78	0,37
CPPC	3	39,34	42,10	0,34
CPPD	1	34,52	38,69	0,52
CPPD	2	36,89	41,60	0,59
CPPD	3	41,41	43,21	0,23
CCPDC4	1	41,31	41,50	0,02
CCPDC4	2	36,54	39,20	0,33
CCPDC4	3	41,85	45,06	0,40

Apêndice 9 - Porosidade preenchida por água dos primeiros 10 cm do solo dos diferentes sistemas de manejo e repetições de campo, para o período 2011-2012.

Nº dia medição	Data	Sistemas de manejo																			
		CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
		R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
..... % PPA																					
1	10/05/2011	35,0	36,5	38,0	36,5	54,2	53,7	56,4	54,7	59,9	60,4	65,7	62,0	37,0	38,3	45,6	40,3	55,6	54,4	56,9	55,6
10	19/05/2011	37,1	37,3	37,5	37,3	53,3	51,1	58,7	54,3	65,7	62,1	64,1	64,0	37,6	42,3	42,1	40,7	54,4	54,1	58,5	55,6
22	31/05/2011	48,7	50,0	51,4	50,0	57,5	53,9	57,2	56,2	63,6	67,8	71,3	67,5	47,9	50,6	49,7	49,4	58,8	57,9	61,8	59,5
28	06/06/2011	42,9	42,8	42,6	42,8	52,8	50,3	56,5	53,2	58,9	59,0	65,7	61,2	38,4	43,4	49,1	43,6	54,2	55,2	58,4	56,0
36	14/06/2011	39,5	42,4	45,3	42,4	57,9	53,4	56,6	55,9	62,8	63,8	66,6	64,4	40,3	43,0	46,9	43,4	58,0	56,9	57,3	57,4
42	20/06/2011	47,9	51,4	55,0	51,4	58,1	59,6	66,1	61,3	72,1	73,7	78,8	74,8	49,7	51,1	55,3	52,0	63,2	62,4	63,9	63,1
46	24/06/2011	51,8			51,8	59,4			59,4	74,8			74,8	51,8			51,8	62,5			62,5
53	01/07/2011	40,1	42,4	44,7	42,4	50,9	55,6	64,8	57,1	60,7	59,6	70,2	63,5	41,8	41,7	48,5	44,0	59,6	61,6	61,6	60,9
57	05/07/2011	36,0	38,3	40,5	38,3	53,7	51,5	60,6	55,3	60,9	87,0	65,0	71,0	40,7	37,8	46,4	41,6	59,4	60,0	60,8	60,1
66	14/07/2011	34,0	35,7	37,3	35,7	51,2	52,3	60,2	54,6	54,8	56,4	63,9	58,3	37,3	37,6	44,0	39,6	58,9	58,8	66,3	61,3
70	18/07/2011	47,5	50,3	53,2	50,3	52,7	52,0	59,2	54,6	67,0	74,3	73,2	71,5	48,3	46,5	58,5	51,1	62,4	61,4	64,9	62,9
88	05/08/2011	43,4	45,8	48,1	45,8	51,2	55,9	60,4	55,9	65,3	66,1	67,2	66,2	50,7	41,2	52,3	48,1	62,5	60,7	58,8	60,6
91	08/08/2011	35,0	38,2	41,3	38,2	50,6	48,3	58,3	52,4	65,0	62,4	63,9	63,8	37,5	36,1	45,7	39,8	61,1	54,6	56,4	57,4
104	21/08/2011	36,7	39,1	41,5	39,1	54,3	55,4	55,8	55,2	69,4	62,2	66,8	66,1	45,7	42,7	53,2	47,2	57,0	57,1	60,2	58,1
109	26/08/2011	31,2	33,4	35,7	33,4	47,8	45,6	58,2	50,5	63,5	57,9	64,2	61,9	42,6	35,2	45,4	41,1	60,7	52,8	58,9	57,5
112	29/08/2011	36,2	39,2	42,2	39,2	49,7	54,5	61,4	55,2	59,4	64,1	67,9	63,8	46,2	42,3	49,8	46,1	59,0	52,1	53,9	55,0
117	03/09/2011	28,0	30,7	33,5	30,7	44,5	47,2	56,2	49,3	52,2	48,5	55,2	52,0	34,6	35,0	40,7	36,8	56,0	49,7	57,3	54,3

Continuação...

Nº dia medição	Data	Sistemas de manejo																			
		CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
		R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
..... % PPA																					
126	12/09/2011	17,8	22,3	26,9	22,3	35,8	37,0	42,5	38,4	34,1	37,0	41,5	37,5	24,5	24,6	33,0	27,4	43,6	44,9	56,3	48,3
135	21/09/2011	20,0	21,6	23,3	21,6	28,9	35,2	36,8	33,7	34,7	35,7	39,2	36,5	22,2	22,9	28,7	24,6	34,0	37,5	36,8	36,1
143	29/09/2011	16,9	18,4	19,9	18,4	25,6	27,1	28,0	26,9	31,3	32,3	30,1	31,2	20,2	18,5	23,4	20,7	32,1	30,1	31,0	31,1
147	03/10/2011	37,5	37,7	37,9	37,7	50,1	53,0	53,6	52,2	54,6	55,7	62,4	57,6	39,0	35,3	46,1	40,1	46,7	48,0	55,4	50,0
158	14/10/2011	46,8	53,5	60,1	53,5	58,7	59,7	68,5	62,3	70,4	73,8	79,6	74,6	50,9	47,5	60,6	53,0	68,9	65,2	70,5	68,2
161	17/10/2011	35,3	41,3	47,3	41,3	47,9	50,6	55,6	51,4	60,2	58,8	64,6	61,2	41,8	39,9	50,1	43,9	52,7	59,5	61,1	57,7
177	02/11/2011	17,2	22,6	28,0	22,6	30,6	34,3	37,9	34,3	40,2	41,6	41,2	41,0	24,8	25,8	35,5	28,7	42,4	43,1	43,6	43,0
196	21/11/2011	39,3	44,2	49,1	44,2	50,3	58,2	59,7	56,1	62,5	63,2	69,9	65,2	43,4	41,6	50,6	45,2	53,2	51,3	56,5	53,7
205	30/11/2011	37,4	37,8	38,3	37,8	47,0	49,7	52,5	49,8	63,2	57,2	65,4	61,9	39,6	34,4	39,9	38,0	56,7	54,6	56,5	55,9
212	07/12/2011	28,7	30,8	32,9	30,8	43,9	42,1	45,2	43,7	51,2	49,8	52,2	51,1	30,1	29,0	35,4	31,5	47,7	49,6	51,0	49,4
217	12/12/2011	25,6	26,4	27,3	26,4	41,8	44,7	41,9	42,8	48,1	48,4	50,7	49,1	32,9	29,2	34,6	32,2	46,8	45,1	55,4	49,1
225	20/12/2011	21,0	22,7	24,4	22,7	29,5	35,3	37,3	34,0	41,7	37,8	47,0	42,2	25,9	23,4	32,0	27,1	42,3	41,9	42,8	42,3
229	24/12/2011	42,5	44,4	46,3	44,4	52,4	52,1	55,5	53,4	62,5	68,6	66,8	66,0	43,3	44,5	49,8	45,9	55,9	57,0	56,2	56,3
262	26/01/2012	30,9	33,5	36,0	33,5	44,5	45,2	45,7	45,1	54,1	60,0	60,1	58,1	31,6	32,7	35,7	33,3	53,8	49,2	50,0	51,0
282	15/02/2012	29,8	32,1	34,3	32,1	37,3	35,9	42,2	38,4	37,1	39,3	40,4	38,9	30,6	31,1	38,9	33,5	51,0	59,5	54,5	55,0
291	24/02/2012	24,1	26,5	28,9	26,5	37,9	33,4	28,5	33,3	39,0	31,0	36,7	35,6	32,2	28,2	29,6	30,0	48,6	46,6	41,3	45,5
305	09/03/2012	48,8	54,4	60,0	54,4	54,6	50,8	64,3	56,5	55,0	53,3	57,0	55,1	53,1	46,9	58,9	53,0	64,9	64,4	64,9	64,7
324	28/03/2012	38,3	42,6	46,9	42,6	43,6	43,1	60,6	49,1	50,1	46,1	50,4	48,9	41,4	40,9	47,5	43,3	57,7	59,9	52,8	56,8
343	16/04/2012	35,8	43,2	50,5	43,2	52,5	52,4	54,4	53,1	54,0	51,1	53,9	53,0	43,2	43,2	49,4	45,3	64,5	64,8	70,6	66,6
350	23/04/2012	38,5	40,1	41,7	40,1	53,8	55,9	58,2	56,0	53,5	52,3	54,5	53,4	39,4	32,9	43,7	38,7	59,2	64,8	68,8	64,3

Apêndice 10 - Porosidade preenchida por água dos primeiros 10 cm do solo dos diferentes sistemas de manejo e repetições de campo, para o período 2012-2013.

Nº dia medição	Data	Sistemas de manejo																			
		CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
		R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
..... % PPA																					
1	09/07/2012	43,2	46,8	50,4	46,8	55,5	63,7	58,2	59,1	54,7	55,5	57,0	55,7	43,1	44,3	49,4	45,6	63,5	55,3	67,3	62,0
18	26/07/2012	36,1	38,0	39,9	38,0	50,5	53,4	53,1	52,3	46,6	51,1	56,0	51,3	38,4	39,3	50,7	42,8	61,6	49,9	64,4	58,6
32	09/08/2012	36,3	36,2	36,1	36,2	46,2	48,0	55,8	50,0	46,0	51,2	60,0	52,4	38,0	35,8	41,8	38,5	60,4	58,4	63,2	60,7
46	23/08/2012	59,1	61,9	64,8	61,9	69,4	58,9	70,7	66,3	63,6	58,7	64,5	62,3	56,2	56,1	67,4	59,9	76,9	71,8	68,9	72,5
58	04/09/2012	41,1	43,5	45,8	43,5	51,6	48,0	72,4	57,3	50,1	52,9	54,9	52,7	40,2	38,1	46,3	41,5	62,2	57,3	62,3	60,6
74	20/09/2012	58,7	59,3	60,0	59,3	63,4	55,0	67,7	62,0	60,4	53,9	61,4	58,6	60,7	50,0	59,4	56,7	66,2	60,4	67,4	64,7
95	11/10/2012	59,7	58,2	56,6	58,2	61,7	63,5	62,7	62,6	59,0	61,1	64,6	61,6	59,1	50,9	65,7	58,6	73,3	65,8	72,9	70,6
110	26/10/2012	43,9	47,4	50,9	47,4	46,4	54,6	52,2	51,1	47,7	55,0	59,3	54,0	42,3	42,5	51,9	45,6	58,1	60,8	56,2	58,3
123	08/11/2012	35,9	35,8	35,7	35,8	44,5	48,4	43,4	45,4	47,3	47,0	51,6	48,7	34,7	38,0	42,3	38,3	52,0	53,2	56,5	53,9
128	13/11/2012	39,2	41,6	44,1	41,6	48,6	51,6	47,0	49,0	43,2	52,5	53,8	49,8	40,1	38,3	48,7	42,3	50,6	55,5	54,0	53,4
136	21/11/2012	33,8	34,4	34,9	34,4	45,5	53,2	62,6	53,8	46,2	45,8	53,0	48,3	36,7	33,6	35,4	35,2	58,9	56,1	66,2	60,4
173	28/12/2012	30,3	35,3	40,3	35,3	38,1	40,5	41,8	40,2	40,8	42,4	39,1	40,8	34,5	30,6	38,7	34,6	47,3	49,2	45,3	47,2
185	09/01/2013	34,2			34,2	47,2			47,2	45,2	42,2	49,8	45,7	36,8	32,4	42,0	37,1	52,2	50,6		51,4
195	19/01/2013	27,3	28,6	29,9	28,6	37,2	35,0	40,1	37,4	39,1	35,6	39,3	38,0	32,6	28,4	31,5	30,9	48,3	50,7	43,7	47,6
202	26/01/2013	27,1	29,9	32,6	29,9	36,6	34,4	35,8	35,6	38,6	35,0	37,8	37,2	30,8	27,3	34,9	31,0	42,7	41,9	40,3	41,6
209	02/02/2013	53,8	51,0	48,2	51,0	53,5	47,1	53,4	51,3	52,4	49,3	57,7	53,2	44,9	42,5	50,6	46,0	53,0	57,9	48,9	53,3
223	16/02/2013	17,5	17,2	16,9	17,2	21,6	28,0	21,8	23,8	23,1	22,8	20,6	22,2	18,0	18,1	20,5	18,9	22,8	27,0	27,0	25,6

Continuação...

Nº dia medição	Data	Sistemas de manejo																			
		CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
		R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
..... % PPA																					
239	04/03/2013	47,3	50,6	54,0	50,6	53,6	54,0	57,9	55,2	56,7	57,5	55,4	56,5	51,3	50,0	51,9	51,1	53,8	53,7	62,3	56,6
257	22/03/2013	55,4	58,1	60,8	58,1	57,5	58,3	68,0	61,2	63,3	55,2	61,1	59,9	55,1	51,6	55,9	54,2	64,0	57,5	69,3	63,6
275	09/04/2013	32,7	35,1	37,5	35,1	43,7	40,6	46,9	43,7	45,5	41,9	46,6	44,7	34,4	26,4	39,4	33,4	49,6	43,7	52,4	48,6
290	24/04/2013	37,1	40,7	44,3	40,7	44,8	45,0	51,6	47,1	47,0	48,3	52,0	49,1	35,0	34,1	45,6	38,3	49,3	48,5	58,4	52,1
319	23/05/2013	50,2	53,4	56,7	53,4	58,1	56,6	72,3	62,3	63,1	61,4	59,8	61,4	52,1	50,2	63,5	55,3	67,5	65,4	80,8	71,2
338	11/06/2013	40,7	45,6	50,5	45,6	45,7	53,3	64,6	54,5	49,1	48,7	56,9	51,6	41,5	41,4	59,4	47,4	55,8	55,6	75,8	62,4

Apêndice 11 - Temperatura do solo dos primeiros 5 cm do solo dos diferentes sistemas de manejo e repetições de campo, para o período 2011-2012.

N° dia medição	Data	Sistemas de manejo																			
		CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
		R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
..... °C																					
3	12/05/11	15,6	21,0	20,8	19,1	16,9	17,6	18,5	17,7	17,3	17,9	19,5	18,2	16,5	17,8	19,9	18,1	17,1	17,3	17,8	17,4
7	16/05/11	11,3	13,4	14,2	13,0	13,7	14,4	15,1	14,4	13,9	14,6	15,1	14,6	12,8	13,2	14,4	13,5	14,2	14,3	14,6	14,3
10	19/05/11	11,7	13,3	14,6	13,2	14,5	14,1	14,7	14,4	13,5	14,2	14,9	14,2	12,5	14,2	14,1	13,6	14,1	13,6	14,6	14,1
15	24/05/11	10,5	12,1	13,9	12,2	13,0	13,9	13,9	13,6	13,6	13,6	13,4	13,5	11,1	12,3	12,7	12,0	14,2	14,9	13,8	14,3
22	31/05/11	12,6	13,6	14,5	13,6	12,8	13,3	13,8	13,3	13,3	13,7	14,0	13,7	12,7	13,0	14,5	13,4	13,4	13,4	13,5	13,4
28	06/06/11	9,4	8,7	10,3	9,5	9,9	10,0	10,4	10,1	10,1	10,1	9,9	10,0	8,7	9,6	9,2	9,2	10,5	10,4	9,9	10,3
36	14/06/11	8,5	9,1	9,2	9,0	9,7	10,3	10,3	10,1	9,7	10,0	9,8	9,9	8,6	9,1	9,1	9,0	10,2	10,3	10,1	10,2
38	16/06/11	14,9	14,7	15,0	14,9	14,3	14,3	14,5	14,4	14,6	16,1	14,5	15,1	15,0	14,8	16,9	15,6	14,5	14,4	14,6	14,5
42	20/06/11	15,9	16,4	16,4	16,2	15,9	16,0	16,1	16,0	17,7	16,3	17,6	17,2	15,9	17,5	16,3	16,6	16,1	15,8	16,2	16,0
46	24/06/11	8,6	8,7	8,8	8,7	9,3	10,0	10,6	10,0	8,2	8,9	10,0	9,1	7,6	8,7	9,7	8,7	9,8	10,0	11,1	10,3
53	01/07/11	2,8	3,1	5,2	3,7	5,8	6,3	6,8	6,3	5,4	5,6	6,1	5,7	2,8	2,9	5,3	3,6	6,3	6,8	6,2	6,4
57	05/07/11	2,0	3,3	5,7	3,7	5,0	5,8	6,1	5,6	4,2	4,5	5,7	4,8	3,0	3,7	4,9	3,9	6,1	6,4	6,6	6,4
66	14/07/11	12,8	14,2	13,7	13,5	11,9	12,0	12,5	12,2	12,1	12,4	12,9	12,5	12,5	12,6	13,4	12,8	11,9	12,2	14,1	12,7
70	18/07/11	11,0	11,5	11,4	11,3	11,2	11,2	11,5	11,3	11,3	11,3	11,5	11,4	11,1	11,8	11,6	11,5	11,3	11,6	11,6	11,5
86	03/08/11	7,4	8,0	9,6	8,3	7,7	8,2	9,0	8,3	7,9	8,1	9,6	8,5	7,4	8,0	9,6	8,3	8,4	8,3	9,1	8,6
88	05/08/11	5,8	6,5	7,5	6,6	6,8	7,5	7,6	7,3	6,9	6,6	7,4	7,0	6,2	6,6	7,9	6,9	7,8	7,4	7,8	7,7
91	08/08/11	12,8	13,0	13,5	13,1	12,5	13,0	12,7	12,7	12,7	12,8	13,2	12,9	12,8	12,9	13,2	13,0	12,3	12,2	12,4	12,3
95	12/08/11	17,8	26,1	18,7	20,9	17,2	17,1	17,8	17,4	17,3	17,9	18,3	17,9	17,7	18,1	18,8	18,2	16,6	17,0	17,5	17,0
104	21/08/11	6,1	7,2	7,7	7,0	6,7	7,7	7,6	7,3	6,6	6,6	7,7	7,0	6,1	6,8	8,2	7,0	7,4	7,4	7,9	7,6

Continuação...

N° dia medição	Data	Sistemas de manejo																			
		CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
		R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
..... °C																					
109	26/08/11	8,9	9,9	10,4	9,8	9,5	9,9	10,5	10,0	9,7	9,7	11,1	10,2	9,2	9,7	10,1	9,7	10,0	9,8	10,5	10,1
112	29/08/11	10,5	11,9	12,5	11,6	10,7	11,3	12,1	11,4	10,6	11,6	12,4	11,5	10,5	11,3	13,5	11,8	10,5	11,2	11,7	11,1
117	03/09/11	11,8			11,8	11,6			11,6	11,8			11,8	11,5			11,5	11,7			11,7
126	12/09/11	11,2	13,3	14,3	12,9	11,6	12,5	13,4	12,5	11,5	12,5	13,5	12,5	12,0	12,9	13,1	12,7	11,8		13,0	12,4
128	14/09/11	11,8	12,7	13,4	12,6	12,0	12,2	12,9	12,4	12,0	12,1	13,8	12,6	11,8	12,9	13,3	12,7	14,4	11,9	12,2	12,8
135	21/09/11	12,1	16,7	16,6	15,1	13,2	13,9	15,3	14,1	12,5	13,3	14,9	13,5	12,6	14,3	15,5	14,1	13,2	13,7	14,3	13,7
137	23/09/11	14,6	16,0	16,8	15,8	15,0	14,9	15,7	15,2	15,3	14,1	15,7	15,0	14,3	15,5	16,2	15,3	14,7	14,5	15,0	14,8
143	29/09/11	19,4	21,0	22,0	20,8	19,8	19,1	19,9	19,6	19,4	19,5	20,3	19,7	19,0	20,4	21,3	20,3	18,7	18,9	19,0	18,9
147	03/10/11	13,6	14,2	14,8	14,2	14,8	15,1	15,0	15,0	14,1	13,8	15,0	14,3	13,2	14,1	14,7	14,0	14,9	14,4	14,9	14,7
158	14/10/11	17,7	18,2	18,3	18,1	17,8	17,8	18,2	17,9	17,6	17,5	18,2	17,8	17,5	17,9	18,1	17,8	17,5	17,6	18,1	17,7
161	17/10/11	17,9	18,3	19,0	18,4	18,2	18,2	18,7	18,4	17,9	17,6	18,4	18,0	17,5	18,3	18,8	18,2	18,4	18,2	18,3	18,3
177	02/11/11	17,9	18,8	18,7	18,5	18,2	17,6	18,7	18,1	17,1	17,6	18,4	17,7	17,3	18,9	18,5	18,2	17,9	17,8	18,4	18,0
196	21/11/11	22,6	23,0	22,6	22,8	22,9	22,6	22,8	22,8	22,3	22,9	22,5	22,6	22,2	23,0	22,1	22,5	22,3	22,4	22,4	22,4
205	30/11/11	24,1	25,3	26,3	25,2	24,4	24,6	25,9	25,0	23,8	24,2	25,5	24,5	24,0	24,7	25,9	24,9	24,1	24,7	24,8	24,5
212	07/12/11	25,0	27,3	26,1	26,1	23,1	23,6	24,8	23,8	23,4	24,1	24,9	24,1	24,2	27,1	27,1	26,1	23,0	23,9	25,1	24,0
215	10/12/11	25,5	27,3	27,3	26,7	23,4	23,6	25,4	24,1	23,5	24,2	25,0	24,2	24,7	27,6	27,9	26,7	23,0	23,7	25,1	23,9
217	12/12/11	26,9	29,7	28,3	28,3	24,8	25,2	26,1	25,4	25,2	25,7	26,1	25,7	26,0	28,2	28,3	27,5	23,9	25,0	26,1	25,0

Continuação...

N° dia medição	Data	Sistemas de manejo																			
		CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
		R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
.....°C.....																					
220	15/12/11	22,3	24,6	24,7	23,9	21,8	22,6	23,5	22,6	22,1	23,7	23,1	23,0	22,5	24,6	24,1	23,7	21,8	22,2	23,1	22,3
225	20/12/11	25,2	27,0	31,6	27,9	24,2	25,1	25,8	25,0	24,3	25,2	27,6	25,7	26,0	27,6	28,9	27,5	23,4	24,0	25,5	24,3
229	24/12/11	18,2	18,3	19,1	18,6	19,9	19,8	20,1	19,9	19,2	19,6	20,0	19,6	17,5	18,2	18,6	18,1	19,7	19,6	20,3	19,9
243	07/01/12	30,5	32,5	33,2	32,1	27,8	26,8	31,6	28,7	28,2	29,1	28,8	28,7	30,9	33,2	34,6	32,9	26,2	28,1	30,3	28,2
246	10/01/12	31,0	31,9	33,1	32,0	29,3	27,8	29,3	28,8	28,8	29,6	29,5	29,3	31,2	32,6	33,9	32,6	27,6	29,4	31,9	29,6
250	14/01/12	24,9	27,4	30,2	27,5	24,8	24,2	27,4	25,5	24,0	28,4	25,4	25,9	26,1	26,4	30,1	27,5	24,6	26,1	26,9	25,9
253	17/01/12	26,8	30,5	33,4	30,2	26,9	25,4	27,4	26,5	24,9	26,6	27,1	26,2	28,8	31,7	34,0	31,5	27,9	26,6	30,6	28,4
257	21/01/12	29,7	31,1	32,2	31,0	27,7	27,1	29,1	28,0	27,8	27,7	29,3	28,3	30,1	31,7	32,0	31,3	27,2	29,0	34,7	30,3
262	26/01/12	20,4	23,0	24,5	22,6	22,3	22,6	23,7	22,9	21,7	22,2	23,0	22,3	21,7	21,9	21,8	21,8	23,3	23,5	25,8	24,2
282	15/02/12	23,5	26,5	26,4	25,5	23,2	23,3	23,7	23,4	23,0	23,3	24,0	23,4	23,8	26,1	25,8	25,3	24,1	25,0	26,8	25,3
291	24/02/12	19,6	22,8	22,6	21,7	21,4	21,6	22,0	21,7	20,2	21,6	21,6	21,1	21,3	22,5	21,8	21,9	22,6	22,5	24,7	23,3
305	09/03/12	23,1	24,8	24,1	24,0	23,8	23,7	23,7	23,7	24,0	23,6	23,5	23,7	23,2	24,0	23,7	23,6	24,4	24,4	25,4	24,7
324	28/03/12	13,3	17,2	15,2	15,2	15,9	17,5	17,2	16,9	15,7	16,5	17,5	16,6	13,5	14,4	15,3	14,4	17,5	16,4	17,5	17,1
343	16/04/12	17,3	19,1	18,9	18,4	18,6	19,2	19,8	19,2	18,5	19,3	19,3	19,0	17,9	19,0	19,4	18,8	19,0	19,0	20,0	19,3
350	23/04/12	17,2	17,7	18,1	17,7	18,1	18,0	18,2	18,1	17,7	18,1	18,4	18,1	17,4	18,1	18,3	17,9	17,8	17,6	18,3	17,9

Apêndice 12 - Temperatura do solo dos primeiros 5 cm do solo dos diferentes sistemas de manejo e repetições de campo, para o período 2012-2013.

Nº dia medição	Data	Sistemas de manejo																			
		CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
		R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
		..... °C																			
1	09/07/12	3,3	5,4	7,2	5,3	6,7	7,8	8,5	7,7	6,3	6,8	7,5	6,9	4,1	5,4	7,4	5,7	7,4	7,7	7,8	7,6
18	26/07/12	5,3	6,9	8,0	6,7	7,1	7,5	8,4	7,7	6,7	7,3	7,9	7,3	5,8	7,3	8,6	7,2	7,7	7,6	8,2	7,8
32	09/08/12	12,4	13,4	13,9	13,2	12,1	12,4	12,8	12,4	12,1	12,4	13,0	12,5	12,5	13,4	13,5	13,1	12,2	12,5	12,6	12,5
46	23/08/12	16,6	17,8	17,6	17,3	17,0	17,2	17,6	17,2	17,5	16,7	18,0	17,4	16,8	17,9	18,1	17,6	16,8	17,3	18,1	17,4
58	04/09/12	13,2	14,7	16,3	14,7	13,5	14,2	14,5	14,1	13,4	13,5	14,0	13,6	13,0	14,8	16,0	14,6	13,4	13,8	15,0	14,1
74	20/09/12	10,6	12,4	12,7	11,9	12,9	13,7	14,2	13,6	12,2	12,6	13,2	12,7	11,1	12,4	12,4	12,0	13,1	13,1	14,0	13,4
95	11/10/12	11,8	13,7	15,6	13,7	13,5	13,9	15,0	14,1	13,3	13,5	15,9	14,2	12,2	13,9	15,6	13,9	13,4	13,7	15,1	14,1
110	26/10/12	16,8	17,1	20,4	18,1	17,7	18,2	18,6	18,2	17,1	18,8	19,0	18,3	16,9	18,7	19,8	18,5	17,7	18,1	19,5	18,4
118	03/11/12	20,8	24,3	24,9	23,3	20,0	20,7	21,9	20,9	20,8	21,8	23,6	22,1	22,0	22,9	26,3	23,7	24,7	21,2	22,7	22,8
123	08/11/12	24,1	28,5	28,9	27,2	24,0	23,4	25,7	24,3	22,9	25,2	24,9	24,3	25,3	28,4	29,9	27,9	22,5	23,0	24,1	23,2
128	13/11/12	17,0	19,4	22,4	19,6	16,3	18,0	19,5	17,9	16,9	19,4	18,9	18,4	18,0	21,4	21,2	20,2	17,1	17,3	19,1	17,8
136	21/11/12	24,1	26,8	28,2	26,4	23,5	23,0	24,1	23,5	22,5	23,9	24,6	23,7	24,7	26,2	28,3	26,4	22,4	22,8	24,3	23,1
169	24/12/12	25,4	27,3	29,0	27,2	25,1	25,0	25,9	25,4	25,1	25,8	26,1	25,7	24,7	26,4	28,1	26,4	25,4	25,3	27,4	26,1
173	28/12/12	19,8		29,8	24,8	20,1		22,0	21,0	19,8		22,8	21,3	19,9		22,8	21,3	21,4		23,8	22,6
179	03/01/13	17,9	19,7	20,3	19,3	18,7	19,8	20,3	19,6	19,1	18,7	19,4	19,1	18,1	19,2	19,5	18,9	20,4	20,9	22,5	21,3
181	05/01/13	23,6	24,5	26,7	24,9		24,0	24,3	24,2	23,4	24,5	24,4	24,1	23,4	25,0	24,4	24,2	24,8	25,3	26,5	25,5
185	09/01/13	23,2	29,0	27,8	26,7	23,3	23,8	24,9	24,0	23,5	23,9	24,8	24,1	22,9	24,8	25,3	24,3	24,7	25,1	26,2	25,4
195	19/01/13	23,4	24,8	25,5	24,5		24,1	24,5	24,3	23,2	23,6	24,4	23,7	22,8	24,9	24,5	24,1	24,9	25,0	26,3	25,4
202	26/01/13	18,0	19,5	21,1	19,5	18,8	19,6	21,2	19,9	19,0	19,4	20,2	19,6	18,4	19,7	20,1	19,4	19,8	19,8	21,2	20,3

Continuação...

N° dia medição	Data	Sistemas de manejo																			
		CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
		R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
.....°C.....																					
209	02/02/13	24,7	25,4	25,6	25,2	24,5	24,5	25,2	24,7	24,1	24,5	25,1	24,6	23,8	25,2	25,1	24,7	24,1	24,4	26,3	25,0
223	16/02/13	26,4	27,3	30,0	27,9	26,2	26,2	27,6	26,7	25,7	26,4	27,8	26,6	25,9	27,4	27,5	27,0	25,9	26,5	29,5	27,3
239	04/03/13	17,7	18,4	18,7	18,3	18,4	18,7	19,5	18,8	18,6	18,3	19,3	18,7	17,6	17,8	18,5	18,0	17,9	17,8	19,1	18,2
257	22/03/13	18,7	20,0	21,2	20,0	18,9	19,6	21,1	19,9	18,9	19,6	20,6	19,7	18,8	19,7	21,2	19,9	18,4	19,3	21,8	19,8
275	09/04/13	16,4	17,9	18,6	17,6	16,8	17,4	18,9	17,7	16,4	17,8	17,7	17,3	16,6	19,1	19,4	18,4	16,8	17,6	18,6	17,7
290	24/04/13	17,0	18,8	19,9	18,6	17,3	18,5	19,7	18,5	17,6	18,4	20,5	18,8	17,4	19,4	20,1	19,0	17,7	18,4	19,5	18,5
319	23/05/13	13,7	14,3	14,9	14,3	13,7	14,3	14,7	14,2	13,8	14,2	14,9	14,3	13,7	14,3	15,0	14,3	13,9	14,3	14,8	14,3
338	11/06/13	11,0	12,3	13,4	12,2	11,3	12,4	13,0	12,2	11,4	12,1	13,3	12,3	11,2	12,2	12,9	12,1	11,4	12,1	13,0	12,2

Apêndice 13 - Conteúdo de amônio nos primeiros 10 cm do solo dos diferentes sistemas de manejo e repetições de campo, para o período 2011-2012.

Nº dia medição	Data	Sistemas de manejo																			
		CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
		R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
. mg N-NH ₄ kg ⁻¹																					
1	10/05/2011	6,6	7,4	8,2	7,4	7,3	6,9	7,9	7,4	6,6	9,7	10,6	9,0	12,2	11,4	9,7	11,1	10,6	8,1	9,8	9,5
10	19/05/2011	6,9	6,6	6,2	6,6	6,7	10,7	6,4	7,9	7,4	7,9	8,0	7,8	8,0	7,8	6,4	7,4	12,0	8,9	8,6	9,8
22	31/05/2011	6,5	6,3	6,1	6,3	6,4	6,1	8,4	7,0	7,3	7,5	8,2	7,7	9,2	6,7	7,4	7,7	6,9	8,9	8,8	8,2
28	06/06/2011	7,6	7,4	7,3	7,4	7,1	13,6	7,3	9,3	10,2	7,4	12,2	9,9	6,8	8,7	7,9	7,8	11,9	7,8	8,9	9,5
36	14/06/2011	8,2	9,0	9,7	9,0	7,1	7,8	11,4	8,8	7,2	8,3	16,7	10,7	7,7	8,5	17,5	11,2	9,0	24,0	7,2	13,4
42	20/06/2011	7,3	6,9	6,4	6,9	7,5	9,3	7,2	8,0	11,4	8,9	8,1	9,5	9,4	7,4	7,5	8,1	10,1	10,0	10,6	10,2
53	01/07/2011	12,6	11,0	9,4	11,0	7,3	11,5	18,7	12,5	19,6	8,4	13,6	13,9	14,9	10,5	9,7	11,7	9,6	8,9	15,7	11,4
57	05/07/2011	12,7	12,6	12,5	12,6	8,8	9,0	10,0	9,3	13,3	9,1	25,4	15,9	18,0	9,5	12,8	13,4	14,8	10,7	10,9	12,1
66	14/07/2011	7,3	7,2	7,1	7,2	7,8	9,6	8,0	8,4	8,3	14,0	8,8	10,4	10,8	9,5	12,2	10,8	12,0	67,3	11,6	30,3
70	18/07/2011	6,9	7,4	8,0	7,4	8,5	8,4	8,2	8,4	7,8	6,0	18,2	10,7	8,9	9,1	8,3	8,8	9,4	11,8	13,0	11,4
88	05/08/2011	13,1	11,2	9,3	11,2	12,8	8,5	17,6	12,9	9,6	16,6	9,3	11,8	23,8	12,8	9,1	15,2	23,0	10,8	8,7	14,2
91	08/08/2011	16,9	12,4	7,8	12,4	8,1	8,7	9,6	8,8	9,7	9,9	17,4	12,3	18,2	10,0	11,0	13,1	12,6	11,3	9,4	11,1
104	21/08/2011	6,7	6,8	6,8	6,8	7,4	10,4	7,9	8,6	7,8	7,8	7,3	7,6	8,9	8,5	7,7	8,3	9,2	7,9	7,6	8,2
109	26/08/2011	6,8	7,8	8,8	7,8	8,0	10,0	12,8	10,3	9,2	9,3	9,2	9,2	8,7	44,5	9,3	20,9	13,4	15,1	9,3	12,6
112	29/08/2011	12,1	17,7	23,2	17,7	10,3	8,3	7,7	8,8	12,3	9,8	8,6	10,2	7,8	8,4	10,3	8,8	18,7	8,7	8,2	11,9
117	03/09/2011	7,5	7,5	7,6	7,5	6,8	10,9	11,0	9,6	11,7	8,0	11,6	10,4	8,8	9,2	10,1	9,4	12,1	9,5	10,2	10,6
126	12/09/2011	8,1	34,6	61,1	34,6	10,0	12,2	7,9	10,0	35,7	9,1	53,4	32,7	9,3	7,1	9,1	8,5	84,6	9,3	10,2	34,7

Continuação...

N° dia medição	Data	Sistemas de manejo																			
		CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
		R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
. mg N-NH ₄ kg ⁻¹																					
135	21/09/2011	9,2	10,7	12,2	10,7	22,7	9,6	8,4	13,6	14,8	24,8	9,8	16,4	18,9	7,7	11,1	12,5	11,6	16,7	8,5	12,3
143	29/09/2011	19,1	15,1	11,1	15,1	9,4	15,1	10,3	11,6	29,7	36,2	16,1	27,3	39,9	9,9	11,4	20,4	15,3	9,6	15,0	13,3
147	03/10/2011	8,9	8,6	8,3	8,6	9,7	10,6	8,8	9,7	7,8	10,4	7,6	8,6	11,2	9,9	10,3	10,5	10,1	8,4	8,5	9,0
158	14/10/2011	8,6	9,5	10,3	9,5	8,7	12,0	11,4	10,7	11,6	10,3	8,9	10,3	12,2	8,3	9,6	10,0	9,5	8,3	9,5	9,1
161	17/10/2011	7,7	7,9	8,1	7,9	8,8	8,0	6,7	7,9	8,6	8,2	8,9	8,6	8,5	8,1	10,9	9,2	12,6	8,1	8,4	9,7
177	02/11/2011	8,5	8,7	8,9	8,7	8,0	8,4	7,8	8,1	9,3	10,3	8,2	9,3	8,4	8,1	8,1	8,2	13,5	7,8	11,3	10,9
205	30/11/2011	6,8	7,1	7,5	7,1	6,4	7,3	6,3	6,7	8,1	7,2	6,3	7,2	6,9	6,5	7,5	7,0	8,5	6,9	10,8	8,7
212	07/12/2011	10,1	10,9	11,7	10,9	11,2	11,1	11,8	11,4	11,4	12,7	12,6	12,2	11,7	12,6	10,4	11,6	11,5	11,1	11,3	11,3
217	12/12/2011	13,0	12,2	11,3	12,2	12,1	10,8	10,9	11,2	12,3	9,7	11,4	11,2	15,7	11,9	11,5	13,0	11,2	12,1	11,2	11,5
225	20/12/2011	10,8	11,2	11,6	11,2	10,1	10,7	15,4	12,1	13,2	11,3	10,5	11,7	11,3	11,1	13,2	11,9	13,2	11,0	11,9	12,1
229	24/12/2011	9,5	9,6	9,8	9,6	9,9	9,1	8,0	9,0	10,0	10,2	12,6	10,9	10,1	11,1	9,3	10,2	15,5	11,0	10,2	12,2
262	26/01/2012	17,9	17,6	17,3	17,6	15,9	20,8	15,4	17,4	21,9	21,0	19,2	20,7	18,7	17,3	23,4	19,8	34,7	20,7	24,7	26,7
282	15/02/2012	9,6	9,7	9,8	9,7	10,7	13,3	15,7	13,2	9,3	9,4	8,8	9,2	9,3	9,8	9,2	9,5	10,4	9,4	10,7	10,2
291	24/02/2012	10,2	10,0	9,7	10,0	14,3	9,8	9,0	11,0	10,1	9,4	11,1	10,2	11,8	12,3	11,1	11,7	11,7	8,2	10,9	10,3
324	28/03/2012	9,4	9,8	10,2	9,8	17,9	13,0	10,3	13,7	11,6	10,5	12,3	11,5	10,4	9,2	9,9	9,8	9,6	10,6	9,1	9,8
343	16/04/2012	11,3	10,4	9,5	10,4	9,4	10,1	8,8	9,4	13,8	8,9	10,0	10,9	10,2	12,2	11,0	11,1	9,8	10,0	11,2	10,3
350	23/04/2012	10,3	11,2	12,1	11,2	13,1	12,6	10,8	12,1	13,3	11,1	12,7	12,3	10,7	10,9	10,5	10,7	11,5	21,2	14,6	15,8

Apêndice 14 - Conteúdo de nitrato nos primeiros 10 cm do solo dos diferentes sistemas de manejo e repetições de campo, para o período 2011-2012.

N° dia medição	Data	Sistemas de manejo																			
		CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
		R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
. mg N-NO ₃ kg ⁻¹																					
1	10/05/2011	8,0	10,4	12,8	10,4	5,3	5,5	7,4	6,0	13,7	19,2	18,2	17,0	37,9	10,3	35,3	27,8	11,1	5,5	13,5	10,0
10	19/05/2011	11,0	12,1	13,1	12,1	6,7	10,8	9,5	9,0	18,7	11,6	20,8	17,1	27,4	11,5	21,0	20,0	22,6	11,3	11,2	15,0
22	31/05/2011	5,4	6,1	6,7	6,1	4,9	5,9	7,2	6,0	15,6	14,9	16,2	15,6	18,5	7,5	11,8	12,6	5,6	7,7	8,0	7,1
28	06/06/2011	8,4	9,4	10,4	9,4	8,9	10,1	7,3	8,8	18,7	16,8	15,6	17,0	23,8	11,5	14,3	16,5	9,5	10,1	10,0	9,9
36	14/06/2011	12,8	11,2	9,7	11,2	8,0	10,5	26,3	14,9	8,9	23,4	30,4	20,9	19,8	11,3	5,1	12,1	10,8	15,4	14,4	13,5
42	20/06/2011	9,6	9,4	9,2	9,4	11,4	16,0	9,3	12,2	22,6	17,4	18,4	19,4	21,3	8,9	17,7	16,0	10,1	10,0	16,3	12,1
53	01/07/2011	17,3	15,2	13,2	15,2	8,9	17,8	22,3	16,3	25,7	23,0	23,6	24,1	27,1	13,2	16,1	18,8	10,1	10,8	18,2	13,0
57	05/07/2011	25,2	19,2	13,2	19,2	10,9	12,0	11,2	11,4	21,4	17,6	22,6	20,5	30,2	13,2	22,6	22,0	12,5	14,0	15,1	13,9
66	14/07/2011	21,1	20,8	20,6	20,8	18,8	28,6	18,0	21,8	22,7	32,0	25,0	26,6	45,7	35,3	26,3	35,8	21,9	42,6	23,5	29,4
70	18/07/2011	14,1	10,6	7,0	10,6	8,9	16,9	16,6	14,1	18,4	21,5	4,4	14,7	27,5	13,3	17,7	19,5	15,8	10,2	13,3	13,1
88	05/08/2011	32,4	24,4	16,4	24,4	23,4	14,0	30,5	22,6	22,4	27,9	24,2	24,8	25,8	21,3	15,6	20,9	16,4	16,4	9,7	14,2
91	08/08/2011	60,7	41,8	22,9	41,8	18,5	26,9	27,4	24,3	43,3	41,5	51,6	45,5	50,9	27,4	22,9	33,8	36,0	31,6	12,1	26,5
104	21/08/2011	23,6	19,1	14,5	19,1	15,6	16,6	13,0	15,0	27,4	25,9	25,7	26,3	20,1	13,0	10,5	14,5	21,8	19,4	8,1	16,4
109	26/08/2011	24,2	24,4	24,7	24,4	21,2	23,0	16,6	20,3	29,8	21,9	23,3	25,0	19,2	29,8	18,5	22,5	23,1	27,6	16,8	22,5
112	29/08/2011	45,1	34,9	24,7	34,9	19,9	15,9	13,7	16,5	26,4	15,6	17,0	19,6	18,2	10,1	11,1	13,1	24,7	14,6	10,3	16,5
117	03/09/2011	13,0	9,8	6,7	9,8	6,2	6,7	8,4	7,1	13,3	5,5	9,6	9,5	8,4	6,2	12,8	9,1	7,6	6,2	6,3	6,7
126	12/09/2011	5,0	17,8	30,6	17,8	7,2	9,7	5,5	7,5	22,6	10,5	27,9	20,3	5,8	7,7	6,6	6,7	25,5	9,3	10,8	15,2

Continuação...

Nº dia medição	Data	Sistemas de manejo																			
		CCPC				CCPD				CPPD				CPPC				CCPDC4			
		R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
..... mg N-NO ₃ kg ⁻¹																					
135	21/09/2011	8,5	12,0	15,5	12,0	13,3	10,6	5,8	9,9	16,5	20,6	11,0	16,0	13,6	4,5	11,5	9,9	16,6	13,8	4,3	11,6
143	29/09/2011	5,7	5,6	5,5	5,6	7,2	8,5	6,5	7,4	9,1	11,1	9,0	9,7	8,6	7,2	5,9	7,2	8,6	6,2	7,3	7,4
147	03/10/2011	14,8	12,6	10,3	12,6	20,6	11,7	14,7	15,7	15,0	12,1	11,4	12,8	14,2	16,3	12,1	14,2	10,1	7,7	5,9	7,9
158	14/10/2011	6,3	4,2	2,2	4,2	4,8	10,2	4,1	6,3	16,8	18,5	9,8	15,0	1,8	4,4	2,9	3,0	9,6	6,9	7,6	8,0
161	17/10/2011	4,6	4,9	5,1	4,9	6,3	5,5	3,9	5,2	12,4	9,0	8,3	9,9	11,5	7,5	5,8	8,2	7,5	6,3	3,6	5,8
177	02/11/2011	2,7	3,5	4,3	3,5	5,0	4,0	5,0	4,7	7,0	8,0	7,5	7,5	6,8	4,3	5,2	5,4	9,1	7,0	7,0	7,7
205	30/11/2011	8,5	8,4	8,3	8,4	8,8	10,3	8,3	9,1	10,3	13,2	17,3	13,6	17,5	9,1	10,3	12,3	25,5	8,0	13,0	15,5
212	07/12/2011	6,8	6,1	5,5	6,1	9,1	7,7	8,1	8,3	12,6	19,8	13,4	15,2	15,6	10,2	11,9	12,6	9,3	9,9	10,0	9,7
217	12/12/2011	12,1	10,7	9,3	10,7	16,7	9,1	6,2	10,7	23,0	20,4	15,0	19,5	27,1	10,5	11,6	16,4	9,1	13,4	15,4	12,6
225	20/12/2011	7,6	9,8	11,9	9,8	8,7	20,8	23,4	17,6	24,3	28,8	22,0	25,0	19,5	17,9	24,9	20,8	16,1	13,0	25,5	18,2
229	24/12/2011	12,6	14,8	17,1	14,8	12,2	23,4	14,6	16,7	22,8	24,9	26,7	24,8	23,7	21,6	20,7	22,0	18,9	19,4	27,2	21,8
262	26/01/2012	23,6	28,6	33,6	28,6	19,6	18,6	20,7	19,7	34,7	36,6	25,7	32,3	37,8	28,8	41,2	35,9	36,8	35,1	26,1	32,7
282	15/02/2012	10,5	10,0	9,4	10,0	7,7	8,4	6,6	7,5	7,7	10,5	6,8	8,3	16,7	19,7	16,1	17,5	10,1	7,8	11,5	9,8
291	24/02/2012	6,6	6,0	5,4	6,0	7,3	8,4	8,4	8,0	7,8	7,5	7,3	7,6	9,9	14,1	10,1	11,4	7,8	8,0	10,0	8,6
324	28/03/2012	9,6	9,0	8,4	9,0	15,4	8,6	12,9	12,3	24,1	13,8	18,6	18,8	16,6	11,2	9,4	12,4	11,5	10,0	15,9	12,5
343	16/04/2012	6,5	6,9	7,4	6,9	6,3	7,2	7,7	7,1	8,7	9,1	7,8	8,6	10,7	8,2	12,1	10,3	7,2	7,5	10,5	8,4
350	23/04/2012	6,6	6,3	6,1	6,3	10,3	13,0	12,3	11,8	14,7	12,3	15,8	14,3	7,5	3,4	9,1	6,7	5,5	6,9	8,7	7,1

Apêndice 15 – Produção anual e estacional de grãos nos diferentes sistemas de manejo e para as diferentes repetições de campo.

Sistema de manejo	Repetição	Produção de grãos		
		Anual	Inverno	Verão
		... kg MS ha ⁻¹ ...		
CCPC	1	3164	1789	1375
CCPC	2	2960	1659	1301
CCPC	3	2756	1528	1228
CCPD	1	3415	1847	1567
CCPD	2	3714	1981	1733
CCPD	3	3760	1989	1771
CPPD	1	4461	2390	1730
CPPD	2	4024	2334	1356
CPPD	3	4305	2462	1491
CPPC	1	4143	2689	1454
CPPC	2	3797	2148	1342
CPPC	3	4053	2274	1454
CCPDC4	1	5511	1453	4058
CCPDC4	2	5637	1607	4030
CCPDC4	3	6635	1854	4781