

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

**BALANÇO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM ARGISSOLO
VERMELHO SOB SISTEMAS DE CULTURA EM PLANTIO DIRETO**

**LUIS FERNANDO CHAVEZ OLIVEROS
Tese de Doutorado**

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

**BALANÇO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM ARGISSOLO
VERMELHO SOB SISTEMAS DE CULTURA EM PLANTIO DIRETO**

**LUIS FERNANDO CHAVEZ OLIVEROS
Biólogo (PUJ)
M.Sc. Ciência do Solo (UFSM)**

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

**Porto Alegre (RS) Brasil
Julho de 2011**

LUIS FERNANDO CHAVEZ OLIVEROS
Biólogo - La Pontificia Universidad Javeriana - Bogotá/Colômbia
Mestre em Ciência do Solo - UFSM

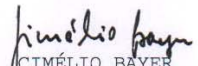
TESE

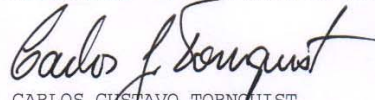
Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de


DOUTOR EM CIÊNCIA DO SOLO

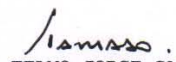
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 20.07.2011
Pela Banca Examinadora


CIMÉLIO BAYER
Orientador - PPG Ciência do Solo

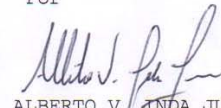

CARLOS GUSTAVO TORNOQUIST
Departamento de Solos/ UFRGS



FREDERICO COSTA BEBER VIEIRA
UNIPAMPA


TELMO JORGE CARNEIRO AMADO
PPG Ciência do Solo UFSM


JOSILÉIA ACORDI ZANATTA
EMBRAPA - Florestas

Homologado em: 21.07.2011
Por


ALBERTO V. ANDRA JUNIOR
Coordenador do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo


PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade
De Agronomia

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por ter me proporcionado tantas oportunidades.

Ao professor Cimélio Bayer, pela orientação, ensinamentos e acolhida em Porto Alegre.

Aos professores do Departamento de Solos da UFRGS pelo ensino de qualidade.

Ao professor Telmo Amado, agradeço por possibilitar os primeiros passos rumo à Ciência do Solo.

A CAPES pelo auxílio financeiro no doutorado.

Aos amigos e colegas do grupo de Manejo de Solo, obrigado pelos momentos de trabalho, companheirismo e amizade.

Ao Luiz Antonio da Silveira (Tonho), obrigado pelo auxílio nas atividades de campo e de laboratório e pela amizade.

Ao Jader Amaro e Paulo Ricardo Teixeira Da Luz pela amizade, colaboração constante e auxílio nas atividades.

A todos que de alguma forma colaboraram, direta ou indiretamente, para que este trabalho se concretizasse.

BALANÇO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM ARGISSOLO VERMELHO SOB SISTEMAS DE CULTURA EM PLANTIO DIRETO¹

Autor: M.Sc. Luis Fernando Chavez Oliveros
Orientador: Prof. Dr. Cimélio Bayer

RESUMO GERAL

O aumento na concentração dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera está relacionado ao uso agrícola dos solos, o que tem sido responsável, ao menos em parte, pelo aquecimento global. Dois estudos foram conduzidos em experimentos de longa duração (24 e 26 anos) em condições de plantio direto (PD) e sem adição de nitrogênio (N) mineral, em um Argissolo Vermelho com o objetivo de avaliar o efeito do manejo do solo que incluem leguminosas e gramíneas em sucessão com milho [aveia/milho (A/M), ervilhaca/milho (V/M), aveia+ervilhaca/milho (A+V/M), aveia+ervilhaca/milho+caupi (A+V/M+C) e lablab+milho (LL+M)] nas emissões de GEE no Sul do Brasil. Amostras de ar foram coletadas em câmaras estáticas e a concentração de óxido nitroso (N₂O) e de metano (CH₄) foi determinada por cromatografia gasosa. Simultaneamente variáveis meteorológicas (temperatura do ar e precipitação pluviométrica) e parâmetros de solo (teor de NO₃⁻, NH₄⁺, C solúvel e umidade) foram avaliados a 10 cm de profundidade. No Estudo I, avaliou-se o efeito em curto prazo das emissões de GEE no período pós-manejo das plantas de cobertura de inverno (2009/10 e 2010/11). No Estudo II, foi realizada avaliação ao longo do ano das emissões de GEE dos sistemas de manejo e calculado o potencial de aquecimento global (PAG). As emissões acumuladas de N₂O no período pós-manejo 2009/10 (2,86±0,43 kg N ha⁻¹) foram aproximadamente nove vezes maiores que as observadas em 2010/11 (0,32±0,08 kg N ha⁻¹). A emissão de N₂O do solo nos tratamentos com ervilhaca (V/M, A+V/M e A+V/M+C) foi potencializada pelas freqüentes chuvas após o manejo das plantas de cobertura, as quais atrasaram a semeadura do milho em 81 dias e mantiveram maiores teores de N no solo em comparação ao tratamento com aveia (A/M). As emissões foram controladas principalmente pela porosidade preenchida por água (PPA) e pela atividade microbiana (CO₂), o que indica que a desnitrificação foi o principal processo envolvido na produção de N₂O no solo. No período pós-manejo 2010/11 as chuvas foram menos freqüentes que em 2009/10; o qual favoreceu a oxidação de CH₄, principalmente em sistemas que incluíram leguminosas. As altas emissões de N₂O do solo nos sistemas de culturas devido ao excesso de chuva durante o período pós-manejo da safra 2009/10 se refletiu nos maiores valores de PAG (emissão líquida de GEE para atmosfera).

¹ Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (120 p.) Julho, 2011. Trabalho realizado com apoio financeiro da CAPES.

GREENHOUSE GASES BALANCE IN AN ACRISOL UNDER NO-TILLAGE CROPPING SYSTEMS²

Author: M.Sc. Luis Fernando Chavez Oliveros
Adviser: Prof. Dr. Cimélio Bayer

ABSTRACT

The increase in the concentration of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere is related to the agricultural use of soil, which has been responsible, at least in part, for global warming. Two studies were performed in long-term (24 and 26 years) experiments under no-tillage and without addition of mineral N in an Acrisol, and aimed to evaluate the effect of soil management that include legumes and grasses with maize in succession [oat/maize (O/M), vetch/maize (V/M), oat+vetch/maize (O+V/M), oat+vetch/maize+cowpea (O+V/M+C) and lablab+maize (LL+M)], on GHG emissions in Southern Brazil. Air samples were collected in static chambers and nitrous oxide (N₂O) and methane (CH₄) concentrations determined by gas chromatography. Meteorological variables (temperature and moisture) and soil parameters (NO₃⁻, NH₄⁺ and dissolved organic C content) were determined at 10 cm depth. Study I evaluated the effect of cropping systems on short-term GHG emissions in the period after winter cover crop management (post-management) (2009/10 and 2010/11). Study II evaluated GHG emissions from cropping systems on annual basis and calculated the net global warming potential (GWP). Cumulative N₂O emissions in the post-management period 2009/10 (2,86±0,43 kg N ha⁻¹) were nine times higher than cumulative emission observed in 2010/11 (0,32±0,08 kg N ha⁻¹). Soil N₂O emission in treatments that included vetch (V/M, O+V/M and O+V/M+C) was enhanced by frequent rains after winter cover crop management, which delayed corn sowing in 81 days and maintained higher levels of soil N compared to treatment with oat (O/M). N₂O emissions were controlled mainly by water filled pore space (WFPS) and microbial activity (CO₂), indicating denitrification as the main process involved in N₂O production. In the post-management period 2010/11 rains were less frequent than in 2009/10; which favored CH₄ oxidation, especially in systems that include legumes. High N₂O emissions in cropping systems due to prevailing weather conditions during the post-management period 2009/10 had a positive reflection in the GWP.

² Doctoral thesis in Soil Science - Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (120 p.) July, 2011. This work had financial support from CAPES-Brazil.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. O efeito estufa e a agricultura.....	18
2.2. Emissões de óxido nitroso em solos agrícolas.....	19
2.3. Emissão/absorção de metano em solos agrícolas.....	21
2.4. Qualidade de resíduos vegetais adicionados ao solo.....	22
2.5. Fatores que afetam as emissões de óxido nitroso do solo.....	24
2.6. Potencial de Aquecimento Global de solos agrícolas.....	26
3. HIPÓTESES	29
4. OBJETIVOS	30
4.1. Objetivo geral.....	30
4.2. Objetivos específicos.....	30
5. ESTUDO I - EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO PERÍODO PÓS-MANEJO DAS PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO	31
5.1 Resumo.....	31
5.2 Introdução.....	32
5.3 Material e Métodos.....	33
5.3.1 Localização e características do solo.....	33
5.3.2 Áreas experimentais.....	34
5.3.3 Avaliação, amostragem e análise dos gases.....	36
5.3.4 Variáveis de solo e meteorológicas.....	38
5.3.5 Análise estatística.....	41
5.4 Resultados e Discussão.....	41
5.4.1 Condições meteorológicas vigentes durante o período de estudo.....	41
5.4.2 Emissões de N ₂ O do solo.....	42
5.4.3 Variáveis controladoras das emissões de N ₂ O nos períodos pós-manejo.....	46
5.4.4 Emissões de CH ₄ do solo.....	52
5.4.5 Análise multivariada das variáveis controladoras das emissões de N ₂ O.....	58
5.5 Conclusões.....	62
6. ESTUDO II - BALANÇO ANUAL DE GASES DE EFEITO ESTUFA E POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL EM SISTEMAS DE MANEJO DE SOLO NO SUL DO BRASIL	63
6.1 Resumo.....	63
6.2 Introdução.....	64
6.3 Material e Métodos.....	66

6.3.1 Período de avaliação, amostragem e análise dos gases.....	66
6.3.2 Variáveis de solo e meteorológicas.....	67
6.3.3 Potencial de aquecimento global dos sistemas de manejo.....	69
6.3.4 Análise estatística.....	71
6.4 Resultados e Discussão.....	72
6.4.1 Condições meteorológicas vigentes durante o período de estudo.....	72
6.4.2 Emissões de N ₂ O do solo.....	72
6.4.3 Variáveis controladoras das emissões de N ₂ O.....	77
6.4.4 Análise multivariada das variáveis controladoras das emissões de N ₂ O.....	82
6.4.5 Emissões de CH ₄ do solo.....	84
6.4.6 Potencial de aquecimento global.....	87
6.4.7 Intensidade das emissões de gases de efeito estufa.....	91
6.5 Conclusões.....	92
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
9. APÊNDICES.....	108

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Coeficientes de correlação entre as variáveis avaliadas em um Argissolo Vermelho no pós-manejo 2009/10 nos sistemas de culturas e os eixos de ordenação obtidos na análise de coordenadas principais.....	60
2. Coeficientes de correlação entre as variáveis avaliadas em um Argissolo Vermelho no pós-manejo 2010/11 nos sistemas de culturas e os eixos de ordenação obtidos na análise de coordenadas principais.....	61
3. Estimativa dos custos em carbono equivalente (CE) das operações e insumos agrícolas. Adaptado de Lal (2004b).....	70
4. Coeficientes de correlação entre as variáveis avaliadas em um Argissolo Vermelho na safra 2009/10 (381 dias) nos sistemas de culturas e os eixos de ordenação obtidos na análise de coordenadas principais.....	83
5. Rendimento de grãos de milho durante 26 safras, potencial de aquecimento global (PAG) e intensidade das emissões de gases de efeito estufa em sistemas de manejo de culturas (Aveia-A/Milho-M, Ervilhaca-V/M, A+V/M, A+V/M+Caupi-C e LabLab-LL+M).....	91

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Croqui com a distribuição dos tratamentos a campo nos experimentos 1 (a) sistemas de preparos e culturas e experimento 2 (b) sistemas de culturas em plantio direto em consórcio com o milho.....	34
2. Cronograma de amostragem de ar realizada durante os períodos pós-manejo (a) 2009/10 e (b) 2010/11.....	36
3. Vista geral da câmara estática (base e câmara) utilizada para coleta de gás.....	37
4. Distribuição da precipitação pluviométrica, temperatura média do ar e apontamento das irrigações complementares (20 mm) realizadas durante a avaliação das emissões de N ₂ O referente aos períodos pós-manejo (a) 2009/10 e (b) 2010/11.....	40
5. Emissões diárias de N ₂ O ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) no solo (a) no período pós-manejo 2009/10 e (b) pós-manejo 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da média. OBS: Deve ser observado que as diferentes escalas utilizadas no eixo das ordenadas (Y).....	43
6. Emissão acumulada de N ₂ O (kg ha^{-1}) nos períodos pós-manejo 2009/10 e 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho: A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab+Milho) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da média. ns= não significativo ($p < 0,05$).....	46
7. Relação entre a emissão média acumulada de N ₂ O (kg ha^{-1}) com o estoque de nitrogênio do solo (0-30 cm) para os períodos pós-manejos (a) 2009/10 e (b) 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho: A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi) em plantio direto. Deve ser observado que as diferentes escalas utilizadas no eixo das ordenadas (Y).....	47
8. PPA, temperatura do solo, atividade biológica, teores de NO ₃ ⁻ e NH ₄ ⁺ no pós-manejo 2009/10 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da média.	48

9. PPA, temperatura do solo, atividade biológica, teores de NO_3^- e NH_4^+ no pós-manejo 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da média..... 49
10. Relação entre a emissão diária de N_2O ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) com **(a)** a porosidade preenchida por água (PPA), **(b)** atividade biológica (CO_2) e **(c)** amônio (NH_4^+) do solo no período pós-manejo 2009/10 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto..... 50
11. Relação entre a emissão diária de N_2O ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) no solo com a porosidade preenchida por água (PPA) no período pós-manejo 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi) em plantio direto..... 51
12. Emissões diárias de CH_4 ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) no solo **(a)** no período pós-manejo 2009/10 e **(b)** pós-manejo 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da média..... 53
13. Relação entre a emissão diária de CH_4 ($\mu\text{g C m}^{-2} \text{h}^{-1}$) no solo com a concentração de NH_4^+ no período pós-manejo 2009/10 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi e LL/M: Lablab/Milho) em plantio direto..... 55
14. Relação entre a precipitação acumulada nos três dias anteriores à avaliação dos gases e o fluxo diário de CH_4 do solo nos períodos pós-manejos **(a)** 2009/10 e **(b)** 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto..... 57
15. Emissão acumulada de CH_4 (kg ha^{-1}) no solo nos pós-manejos 2009/10 e 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da média. ns= não significativo ($p < 0,05$)..... 58
16. Diagrama de dispersão das variáveis avaliadas e os sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/M, A+V/M, A+V/M+Caupi, LL+M: Lablab+M) no pós-manejo 2009/10 (117

	dias). Os grupos formados pela similaridade entre sistemas de manejo estão indicados como I, II e III.....	59
17.	Diagrama de dispersão das variáveis avaliadas e os sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/M, A+V/M, A+V/M+Caupi, LL+M: Lablab+M) no pós-manejo 2010/11 (119 dias). Os grupos formados pela similaridade entre sistemas de manejo estão indicados como I, II, III e IV.....	59
18.	Cronograma de amostragem de ar realizada durante a Safra 2009/10.....	67
19.	Distribuição da precipitação pluviométrica, temperatura média do ar e apontamento da irrigação complementar (20 mm) realizada durante a avaliação das emissões de N ₂ O e CH ₄ na safra 2009/10.....	68
20.	Emissões médias diárias de N ₂ O ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) do solo (a) e acumuladas (kg ha^{-1}) (b) na safra 2009/10 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio. Média seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste DMS a 5%. Barras verticais indicam o erro padrão da média.....	73
21.	Relação entre a emissão acumulada de N ₂ O com os estoques de nitrogênio do solo pelos sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi) na safra 2009/10 em plantio direto..	78
22.	PPA, temperatura do solo, atividade biológica, teores de NO ₃ ⁻ e NH ₄ ⁺ de um Argissolo Vermelho na safra 2009/10 (381 dias) em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/M, A+V/M, A+V/M+Caupi, LL+M: Lablab+M) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da média.....	80
23.	Relação entre a emissão diária de N ₂ O ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) com a porosidade preenchida por água (PPA) (a) e atividade biológica (CO ₂) (b) na safra 2009/10 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto.....	81
24.	Diagrama de dispersão das variáveis avaliadas e os sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/M, A+V/M, A+V/M+Caupi, LL+M: Lablab+M) na safra 2009/10 (381 dias). Os grupos formados pela similaridade entre sistemas de manejo estão indicados como I, II e III.....	82
25.	Emissões diárias de CH ₄ ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) (a) e acumuladas (b) de um Argissolo Vermelho na safra 2009/10 em sistemas de culturas	

	(A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da media. ns= não significativo ($p < 0,05$).....	85
26.	Taxas de retenção de Carbono de um Argissolo Vermelho em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da média.....	87
27.	PAG total e PAG relativo em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto. Média seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste DMS a 5%. Barras verticais indicam o erro padrão da média.....	88
28.	Balanço de gases de efeito estufa em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto na safra agrícola 2009/10.....	90

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. Emissões de N ₂ O, CH ₄ e CO ₂ (µg m ⁻² h ⁻¹) no solo na safra 2009/10 e período pós-manejo 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto.....	109
2. Variáveis controladoras das emissões de N ₂ O, CH ₄ e CO ₂ (µg m ⁻² h ⁻¹) no solo na safra 2009/10 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto.....	114
3. Variáveis controladoras das emissões de N ₂ O, CH ₄ e CO ₂ (µg m ⁻² h ⁻¹) no solo no pós-manejo da safra 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto.....	119

1. INTRODUÇÃO

A intensificação agrícola ocorrida depois da revolução verde, trazida pela ampliação da fronteira agrícola por meio do desmatamento, da intensa mecanização do solo e da aplicação de fertilizantes e agrotóxicos, proporcionou incrementos significativos na produção vegetal e animal. No entanto, conseqüências negativas desse processo também ocorreram, entre as quais estão a perda acelerada da matéria orgânica do solo (MOS) e o aumento das emissões de GEE (Bayer et al., 2006; Weber & Mielniczuk, 2009).

O aumento na concentração de GEE na atmosfera está relacionado à atividade industrial e ao uso agrícola dos solos, o que tem sido responsável, ao menos em parte, pelo aquecimento global antrópico. Este fenômeno, está sendo reconhecido por causar mudanças nos padrões climáticos atuais com reflexos na agricultura e na sociedade como um todo (IPCC, 2007).

Em nível global, o setor agrícola contribui com 22% das emissões de CO₂, 80% das emissões de N₂O e 55% das emissões de CH₄ (IPCC, 2007). No Brasil, pela vocação agrícola, o panorama é diferente, sendo estimada uma contribuição deste setor de 75% das emissões totais de CO₂, 91% do CH₄ e 94% do N₂O (EMBRAPA-CNPMA, 2006).

Sistemas de manejo conservacionistas, em especial o PD, aumentam a estabilização do C no solo e podem constituir-se em alternativa importante para aumentar a capacidade de dreno de CO₂ atmosférico e mitigação do aquecimento global, principalmente quando associados a sistemas de culturas com alto aporte de resíduos vegetais ao solo (Amado et al., 1999; 2001; Bayer

et al., 2000; 2006). A utilização de leguminosas em sistemas de culturas associadas ao PD aumenta os estoques de N no solo, devido ao maior aporte de N pela fixação biológica somada à menor taxa de mineralização do N orgânico neste tipo de sistema (Lovato et al., 2004), podendo recuperar a capacidade de fornecimento de N pelo solo às culturas (Weber & Mielniczuk, 2009).

Os estudos das mudanças climáticas consideram como principais contribuidores do efeito estufa os gases que estão mais ligados com a agricultura, tais como: o CO₂, N₂O e CH₄. Estes representam hoje uma ameaça significativa para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Baggs et al., 2006; IPCC, 2007). A dinâmica destes gases está associada à população microbiana no solo, já que todos os processos que produzem GEE são devido à ação dos microrganismos do solo. Estes, por sua vez, são influenciados por fatores bióticos e abióticos (Baggs et al., 2006).

As emissões de N₂O em solos agrícolas estão relacionadas com a dinâmica do N no solo, sendo desta forma influenciadas pelo tipo de cultura e pela adubação nitrogenada mineral (Eincher, 1990; Aulakh et al., 2001; Baggs et al., 2003; Gomes et al., 2009; Zanatta et al., 2010).

A interação entre as características do solo, temperatura e os níveis de precipitação local, com o tipo de manejo do solo e a adição de N irão determinar a influência na capacidade de oxidação de CH₄ do solo. Desta maneira, é necessário buscar o manejo adequado para as condições de solo e clima local para que este atue como mitigador da emissão de CH₄ pelos solos.

Nas condições de clima subtropical do sul do Brasil, sistemas de manejo adequados à conservação do solo e produtividade das culturas devem ter por premissa a manutenção da cobertura do solo por culturas e seus resíduos (Amado et al., 2001, Bayer et al., 2006). Nesta região, experimentos de longa duração têm demonstrado que o PD e sistemas de cultura com alto aporte de resíduos e N pela inclusão de leguminosas resultam em aumento dos estoques de C e N do solo (Bayer et al. 2000; Weber & Mielniczuk, 2009).

Neste sentido, considerando que o Sul do Brasil possui grande extensão de terras destinadas à agricultura intensiva, este estudo teve por objetivo avaliar as emissões de N_2O , CH_4 e o potencial de aquecimento global (PAG) em sistemas conservacionistas de manejo do solo, identificando o impacto dos sistemas de culturas nas emissões dos GEE.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O efeito estufa e a agricultura

O efeito estufa é um fenômeno natural de aquecimento da atmosfera responsável por manter a temperatura média do planeta em níveis adequados para a existência dos seres vivos. Do total da radiação solar que atinge o planeta, 50% é absorvida pela superfície da terra, cerca de 30% é refletido para o espaço e 20% é absorvida por determinados gases, denominados GEE (IPCC, 2007).

O CO₂, o CH₄ e o N₂O, são responsáveis por aproximadamente 50, 16 e 5%, respectivamente, do forçamento radiativo causador do efeito estufa. Aumentos na concentração destes gases na atmosfera, devido à atividade antrópica, têm levado a um impacto no balanço de entrada e saída de radiação solar do planeta, tendendo ao aquecimento da superfície da terra (IPCC, 2007).

Os solos são um importante reservatório de C orgânico e desempenham um papel fundamental no ciclo do C global. A agricultura tem sido responsável por significativas perdas de C, através de práticas agrícolas de baixa sustentabilidade ambiental, entre as quais destaca-se o intensivo revolvimento do solo causado por lavração e gradagens, a fertilização inadequada, a queima de resíduos agrícolas, a criação de ruminantes em grandes rebanhos, o cultivo de arroz em campos inundados entre outros (IPCC, 2007; Snyder et al., 2009).

Em contraste, práticas agrícolas que restauram a capacidade dos solos como reservatório de C incluem reflorestamento, cultivo de culturas perenes,

uso adequado de fertilizantes químicos e adubos orgânicos, pastagens bem manejadas, sistemas agroflorestais e de integração lavoura-pecuária e práticas de conservação do solo (Lal et al., 2007).

A contribuição da agricultura para o efeito estufa antropogênico pode ser reduzida, sendo o desenvolvimento de sistemas de manejo do solo com capacidade para mitigar as emissões de GEE uma importante etapa (Reicosky et al., 1997; Janzen et al., 1998; Bayer et al., 2000; Gomes et al., 2009). Potanto, é fundamental desenvolver sistemas de manejo que reduzam as emissões ou aumentem os drenos de GEE (Robertson & Grace, 2004; IPCC, 2007; Gomes et al., 2009).

2.2. Emissões de óxido nitroso em solos agrícolas

O N_2O apesar de apresentar baixa concentração na atmosfera é um importante GEE por ter um longo tempo de residência e um PAG 298 vezes superior ao do CO_2 (Houghton et al., 2001), sendo a agricultura particularmente, quem aumenta as emissões pela aplicação de fertilizantes nitrogenados e pelas práticas agrícolas convencionais (Gomes et al., 2009; Snyder et al., 2009; Zanatta et al., 2010), justificando a avaliação deste gás quando de estudos de práticas de manejo com potencial para mitigar os GEE.

Apesar de solos cultivados com leguminosas geralmente apresentarem uma tendência de emitir mais N_2O do que se tivessem sob cultivo com gramíneas, as primeiras têm papel relevante no aporte de N ao solo, o qual poderá ser utilizado pela cultura em sucessão, e permite reduzir a dose de adubação nitrogenada a ser aplicada (Mackenzie et al., 1997; Amado, 2001).

A disponibilidade de N mineral no solo é um fator considerado chave para as emissões de N_2O do solo (Smith et al., 2003). Bouwman (1996) encontrou uma relação linear entre a quantidade de fertilizante aplicada e as emissões de N_2O , em experimentos realizados com pelo menos um ano de duração. Em média, 1,25% do N aplicado foram perdidos na forma de N_2O , estudo que serviu de base para a elaboração da metodologia para realização de inventário de gases proposta pelo IPCC (2006). No entanto, vários estudos têm mostrado que as emissões sofrem variações influenciadas por alterações climáticas e culturas (Mactaggart et al., 1997; Dobbie et al., 1999; Ruser et al.,

2001; Gomes, 2006), e também pela forma do N aplicado (Dobbie & Smith, 2003; Liu, 2007; Zanatta et al., 2010).

A produção de N_2O do solo ocorre pela nitrificação e desnitrificação, que podem ou não ocorrer simultaneamente nos solos (Firestone & Davidson, 1989; Venterea, 2007). No entanto, a ocorrência e a magnitude de cada processo são determinadas por condições de solo como o suprimento de O_2 , umidade, temperatura do solo, MO, presença de resíduos vegetais, concentração de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), regulam a atividade microbiana e num segundo momento a difusividade do gás à atmosfera (Firestone & Davidson, 1989; Baggs & Philippot, 2010).

A nitrificação é um processo aeróbico que promove a oxidação de NH_4^+ em NO_3^- tendo N_2O como subproduto, cuja produção é maximizada por condições de umidade no solo na faixa de 35% a 60% de PPA. Já a desnitrificação é um processo anaeróbico que promove a redução de NO_3^- em N, tendo N_2O como produto. Nesse processo a produção de N_2O é favorecida por PPA maior a 70%, sendo o processo predominante na emissão de N_2O dos solos (Johnson et al., 2010). Geralmente, as taxas de desnitrificação aumentam com a elevação do teor de NO_3^- e C orgânico no solo (Dalal et al., 2003).

A umidade no solo é um aspecto importante, o qual determina a atividade microbiana e os processos naturais de nitrificação e desnitrificação (Baggs, 2003; 2006; Dusenbury et al., 2008; Baggs & Philippot, 2010) anteriormente comentados. A PPA se relaciona com as taxas de emissão de N_2O , e aumentam quando o solo apresenta PPA acima de 70%, o que dificulta a difusão de O_2 no solo e favorece a formação de ambientes anaeróbicos (Dobbie & Smith, 2001; Smith et al., 2003; Bateman & Baggs, 2005).

Davidson & Verchot (2000) compilaram dados de vários estudos e mostraram que a razão N-NO/N- N_2O é bem superior a 10, quando o solo apresenta 40% de PPA. Em condições de alta PPA, a desnitrificação passa a ser o processo mais importante e a relação N-NO/N- N_2O se reduz a valores inferiores a um. As emissões de N_2O , dependendo das condições climáticas, do tipo e práticas de manejo de solo, são estimuladas a partir de 60% de PPA (Bowmann 1996; Dobbie & Smith, 2003; Smith et al., 2003; Bateman & Baggs, 2005), e picos de emissão têm sido reportados com valores de PPA entre 65% e 75% (Dalal et al., 2003; Gomes, 2006; Zanatta, 2009; Escobar et al., 2010).

2.3. Emissão/absorção de metano em solos agrícolas

O CH₄ é um dos principais GEE e apresenta potencial de aquecimento 25 vezes superior ao do CO₂ (Houghton et al., 2001; IPCC, 2007). Segundo o IPCC (2007), é provável que o aumento observado nas concentrações de CH₄ na atmosfera seja predominantemente devido à agricultura e à utilização dos combustíveis fósseis. Cerca de 70% da produção de CH₄ é resultado de fontes antrópicas, sendo 30% produzido a partir de fontes naturais. Solos cultivados com lavouras de arroz irrigado ou com presença de cupins, as queimadas de biomassa e fermentação entérica estão entre os principais contribuidores (Smith et al., 2003; Mosier et al., 2005; Robertson & Grace, 2004; IPCC, 2007).

A produção de CH₄ no solo ocorre pela atividade das bactérias metanogênicas que, em condições anaeróbias, oxidam os compostos orgânicos a CH₄. Entre outros fatores, a atividade das bactérias metanogênicas no solo agrícola é regulada principalmente pela disponibilidade de O₂. Por outro lado, a oxidação do CH₄ no solo ocorre pela atividade das bactérias metanotróficas que são hábeis para utilizar o CH₄ como fonte de C e energia. As bactérias metanotróficas são aeróbias, heterotróficas e, portanto, a disponibilidade de O₂ é condição fundamental à sua atividade em solos agrícolas (Baggs et al., 2006; Mosquera et al., 2007).

As emissões de CH₄ do solo são o resultado do balanço entre a produção por metanogênese e da oxidação por processos metanotróficos (Baggs et al., 2006; Mosquera et al., 2007). Geralmente os solos não perturbados atuam como dreno de CH₄, mas a mudança do uso diminui a capacidade de oxidação, principalmente em sistemas convencionais de produção agrícola. Os sistemas conservacionistas de manejo do solo tem sido apontados como a estratégia para recuperar a capacidade dos solos agrícolas de atuar como dreno de CH₄ (Hüstch, 1998; Kessavalou et al., 1998; Ball et al., 1999).

Os solos aerados podem atuar como sumidouro ou fonte de CH₄, dominando geralmente a absorção sobre a metanogênese que possa ocorrer em microsítios anaeróbicos. A absorção de CH₄ é controlada pela taxa de difusão e a demanda biológica, por sua vez, a difusão é regulada por fatores físicos, e a demanda biológica por ambientes físicos e químicos. Fatores

bióticos e abióticos podem limitar a absorção de CH₄. Todas as bactérias metanotróficas são aeróbias obrigatórias uma vez que a enzima responsável pelo primeiro passo na oxidação de CH₄ é uma enzima mono-oxygenase, que requer O₂ molecular (Mosier et al., 2004; Snyder et al, 2009).

Em solos agrícolas, a aplicação de adubos nitrogenados diminui a taxa de oxidação de CH₄ atmosférico (Majumdar & Mitra, 2004; Zanatta et al., 2010). O NH₄⁺ atua como inibidor da oxidação do CH₄ no solo ao competir pela enzima mono-oxygenase, encarregada de catalisar a oxidação de CH₄ (Mosier et al., 2004). A ligação entre a fertilização nitrogenada e o consumo do CH₄ pode ser causada pela inibição induzida de N pelos microrganismos que oxidam o CH₄ (Steudler et al., 1991), ou pela alteração na ciclagem do N (Mosier et al., 2004).

A textura do solo é outro fator que influencia na oxidação do CH₄ pelo solo, devido seu efeito na difusão do CH₄ proveniente da atmosfera. Os solos de textura mais arenosa apresentam maior oxidação do CH₄ do que os solos argilosos (Mosier et al., 1998; Boeckx et al., 1997; Haile-Mariam et al., 2008). Observa-se em muitos casos, que o efeito do revolvimento e da adubação nitrogenada a oxidação de CH₄ é mais pronunciada em solos de textura argilosa. Boeckx et al. (1997) verificaram que em solo arenoso a adubação nitrogenada pouco influenciou na oxidação de CH₄, porém, em solo argiloso, que recebeu maior adubação nitrogenada passou a emitir CH₄ com taxas que alcançaram 321 µg CH₄ m⁻² hora⁻¹ (Gomes, 2006).

A interação entre as características do solo como textura, temperatura e os níveis de precipitação local, com as perturbações devido o manejo do solo e a adubação nitrogenada irão determinar a influência na capacidade de oxidação de CH₄ no solo. Desta maneira, é necessário buscar o manejo adequado para as condições de solo e clima local para que este atue como mitigador da emissão de CH₄ pelos solos.

2.4. Qualidade de resíduos vegetais adicionados ao solo.

A introdução de mais uma cultura num sistema produtivo aumenta a adição de C ao solo, e no caso das leguminosas, aumenta também a adição de N ao sistema. Mas a presença de leguminosas também possui efeito indireto

sobre o aumento dos estoques de C através do aumento da disponibilidade de N no solo, devido à decomposição de seus resíduos que são enriquecidos com N proveniente da fixação biológica (Aita et al., 2001; Bayer 2006; Weber & Mielniczuk, 2009).

O principal benefício da inclusão das leguminosas no aumento na produtividade de culturas tem sido atribuído por aumentar a disponibilidade de N no solo às culturas cultivadas em sucessão (Aita & Giacomini, 2003), permitindo a redução dos custos com os fertilizantes minerais sintéticos, resultando numa possível diminuição da emissão de GEE para a atmosfera (Amado et al., 2001; Zanatta et al., 2007; Gomes et al., 2009). Além disso, o processo industrial de produção e aplicação de fertilizante envolve e gastos de energia, o que convertido para C equivalente, equivale a 1,3 kg C por kg de N aplicado no solo (Lal, 2004).

Em levantamento realizado por Aita (1997) destaca-se a quantidade de N presente na fitomassa de leguminosas que varia de 93 a 112 kg ha⁻¹ para leguminosas de inverno, e de 103 a 189 kg ha⁻¹ no caso das leguminosas de verão. A decomposição dos resíduos culturais no solo depende de características intrínsecas aos próprios resíduos, especialmente da sua relação C/N e da composição bioquímica, envolvendo os teores de C solúvel, celulose e lignina, e também de diversos fatores abióticos, os quais variam em função do sistema de manejo adotado (Aita & Giacomini, 2007).

O PD ao permitir uma baixa mobilização do solo pode aumentar os estoques de C do solo, evitando assim as altas taxas de decomposição da MO decorrentes dos preparos do solo. Este sistema associado a rotação de culturas com alto aporte de resíduos vegetais pode atuar como um dreno de CO₂ atmosférico (Bayer et al., 2006; Campos, 2006). A utilização de leguminosas em sucessão ou em consórcio com a cultura comercial tem se constituído numa prática interessante ao disponibilizar N ao solo trazendo benefícios na adição de resíduos e na MOS. A qualidade do resíduo adicionado ao solo também pode afetar o acúmulo de MOS, sendo que resíduos mais recalcitrantes apresentam-se mais resistentes a mineralização microbiana (Paustian et al., 1997; Gomes, 2006).

A composição química e estrutural do resíduo vegetal parece ser o fator determinante da magnitude das emissões de N₂O observadas em solos com

adição de resíduos vegetais. A qualidade do resíduo afeta diretamente as taxas de decomposição dos resíduos vegetais e a disponibilidade de N mineral no solo e, por conseguinte as emissões de N_2O . Assim, a emissão de N_2O é tanto maior quanto mais facilmente decomponível for o resíduo vegetal adicionado ao solo. Esta propriedade nos resíduos vegetais é definida pelos teores de C, N, lignina, celulose, hemicelulose, polifenóis e a capacidade de polifenóis ligarem-se às proteínas. Estudos envolvendo uma variedade de resíduos vegetais comprovaram que quanto maior foi a relação C/N, lignina:N, polifenóis:N e o conteúdo de polifenóis ligados a proteínas, menor é a degradabilidade deste resíduo (Oglesby & Fownes, 1992; Constantinides & Fownes, 1994; Millar & Baggs, 2004).

A magnitude das emissões varia dependendo da composição, qualidade, e da quantidade de biomassa (resíduo) que entra no sistema (Aulakh et al., 1991). As maiores taxas de emissão têm sido detectadas após a deposição de resíduos de baixa relação C/N (Kaiser et al., 1998; Millar & Baggs, 2004), sem considerar o fato de que a disponibilidade de C, que é normalmente alta após a incorporação dos resíduos, estar entre os mais importantes fatores que afetam a atividade de desnitrificação no solo (Firestone et al., 1982). No entanto, o suprimento de compostos orgânicos solúveis diminui a relação N_2O/N_2 que envolve durante a desnitrificação, o que indica que a adição de resíduos pode influenciar de diferentes formas as emissões de N_2O (Gomes et al., 2009).

São poucos os estudos que têm comparado o potencial de redução das emissões de N_2O com o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Gomes (2006) em experimento de manejo do solo de longa duração, comparando a mesma dose de N aplicado por resíduos de ervilhaca e por uréia na cultura do milho, reportaram emissões 3 vezes menores para o uso de leguminosas ($33,93 \text{ mg N m}^{-2}$), do que via fertilizante mineral ($100,42 \text{ mg N m}^{-2}$) num período de 52 dias.

2.5. Fatores que afetam as emissões de óxido nitroso do solo.

No solo, a umidade em conjunto com a concentração de N, tem demonstrado ser o fator dominante que controla a taxa de emissão de N_2O (Skiba & Smith, 2000), sendo que a maior umidade em solos sob PD, com PPA

ao redor de 70%, geralmente favorecem a desnitrificação (Liu et al., 2007). A relação pode ser complexa e mediada pelo balanço entre a taxa líquida de mineralização e de imobilização do N pelos microrganismos, que respondem de formas diferentes dependendo do teor de umidade do solo (Zanatta, 2009). Neill et al. (1995), observaram que a taxa líquida de nitrificação em um Podzólico Vermelho-Amarelo decresceu com o aumento da umidade do solo, provavelmente devido ao decréscimo da disponibilidade de O_2 com a alta umidade do solo. Estudos realizados por Steudler et al. (1991) e García-Méndez et al. (1991), também mostraram baixas taxas líquidas de nitrificação com aumento da umidade do solo em sistemas florestais.

As taxas de nitrificação e desnitrificação aumentam com a temperatura (27-30°C) (Skiba & Smith, 2000). Segundo Smith et al. (2003), as emissões de N_2O são maiores em função da temperatura o que é atribuído ao aumento do consumo de O_2 pela atividade heterotrófica que promove condições anaeróbicas (Dobbie & Smith, 2003; Sehy et al., 2003).

A temperatura tem efeito sobre as emissões de N_2O do solo. A dependência do processo pela temperatura é, normalmente, expressa em termos do valor Q_{10} , que é o fator de aumento da velocidade de uma reação em função de um aumento de 10°C na temperatura (Lloyd & Taylor, 1994; Kirschbaum, 1995). Para muitos processos biológicos se observam valores de Q_{10} da ordem de 2 a 3, como a mineralização do N do solo. Porém, os fluxos de N_2O podem obedecer a valores Q_{10} da ordem de 2 a 10, dependendo das demais condições para as variáveis envolvidas (Dobbie et al., 1999; Skiba & Smith, 2000).

A manutenção do nível de MOS na camada superficial de solo em quantidade e qualidade favoráveis, principalmente nos sistemas conservacionistas, decorrente do acúmulo dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo sob PD, em virtude da ausência de incorporação física realizada pelo revolvimento de solo, o que diminui a taxa de mineralização no PD (Santos et al., 2008), permitirão mitigar mais as emissões dos GEE para atmosfera, em virtude de ser aproveitado o N mineral no início das culturas comerciais cultivadas em sucessão (Gomes, 2006; Zanatta, 2009).

Em sistemas conservacionistas, a decomposição dos resíduos vegetais depende da natureza do material vegetal, do manejo da cobertura, o grau de

fracionamento do resíduo, fertilidade e das condições climáticas principalmente de regime de chuvas e temperatura que influem na atividade microbiana do solo (Bertol et al., 1998; Glimour, 1998; Salton et al., 1998), que determinam as emissões de N_2O . Em condições de anaerobiose, o N mineralizado por desnitrificação é reduzido produzindo N_2O (Firestone & Davidson, 1989). Em solos aerados, a alta umidade e o C solúvel adicionado pelo resíduo das culturas, propiciam o desenvolvimento de sítios anaeróbicos, favorecendo a emissão de N_2O (Ball et al., 1999; Baggs, 2003).

Outro fator importante que atua na emissão de GEE tem a ver com os sistemas de manejo de solo mais eficientes, que são aqueles que tendem a atingir um alto nível de sincronia entre as adições de N e absorção de N pelas culturas, evitando o acúmulo excessivo de N no solo (Mosier et al., 2004).

O consórcio, ou cultivos intercalares, é uma prática comum na agricultura tropical, mas pouco utilizada em regiões temperadas. Estudos evidenciaram que as leguminosas, especialmente quando usadas como culturas solteiras, foram rapidamente decompostas após o seu manejo, mesmo em sistema conservacionista, resultando num assincronismo entre a liberação de N dos seus resíduos culturais e a demanda em N pela cultura em sucessão (Sangakkara et al., 2003; Thorsted et al., 2006). Consorciando leguminosas e gramíneas, é possível obter uma fitomassa com relação C/N intermediária àquela das espécies em culturas solteiras (Hauggaard-Nielsen et al., 2010; Bedoussac & Justes, 2010).

2.6. Potencial de Aquecimento Global de solos agrícolas.

A agricultura desempenha importante papel no equilíbrio dos três mais importantes GEE (CO_2 , N_2O e CH_4), cujas emissões são influenciadas pelo homem. O PAG de cada um desses gases é expresso em termos de equivalente de CO_2 . O PAG do N_2O e do CH_4 são 298 e 25 vezes maiores, respectivamente, do que uma unidade de CO_2 (gás referência) (Houghton et al., 2001; IPCC, 2007; Snyder et al., 2009; Pappa, 2011).

O PAG é um índice que integra as emissões dos principais GEE, com os estoques de C no solo e os custos das operações e insumos agrícolas (Lal, 2004; IPCC, 2007). Para um GEE, as emissões de CO_2 -equivalente obtêm-se

multiplicando a quantidade emitida por seu PAG para um período dado (IPCC, 2007).

O uso e manejo do solo afetam os ciclos do C e N, sendo as práticas de manejo determinantes do papel do solo como fonte ou dreno dos GEE e da sua contribuição no aumento do forçamento radiativo na atmosfera (Paustian et al, 1997; Reay et al., 2010). Estudos recentes reforçam que os fatores que mais contribuem para as diferenças no PAG entre sistemas de produção estão ligados a mudanças no estoque de C do solo e a emissões de N₂O (Gomes, 2006; Snyder et al., 2009; Pappa, 2011).

Sistemas conservacionistas de manejo do solo diminuem o PAG gerado pelas emissões de GEE na produção agrícola devido à sua capacidade de seqüestrar C no solo (Weber & Mielniczuk, 2009). Alguns estudos têm apontado a emissão de N₂O como o principal contribuinte para o PAG, sendo o estoque de C o principal fator mitigador, devido ao alto aporte de resíduos vegetais ao solo (Elder & Lal, 2008).

Os sistemas agrícolas apresentam contribuição expressiva na emissão dos GEE, mas por outro lado, podem ter uma importante contribuição na mitigação do forçamento radiativo da atmosfera devido ao seu potencial em atuar como um dreno de C atmosférico quando submetidos a sistemas conservacionistas de manejo. Entretanto, a avaliação do impacto efetivo dos sistemas conservacionistas de manejo no forçamento radiativo requer análise de todas as formas de contribuição e mitigação dos GEE que ocorrem nesses sistemas. Em estudos que se objetiva avaliar o PAG de sistemas agrícolas se tem verificado, de maneira geral, que a mudança de PC para sistemas conservacionistas tem sido condição fundamental para mudança dos sistemas agrícolas de emissor para mitigador dos GEE (Moiser et al., 2005; Gomes, 2006; Snyder et al., 2009).

Entre as praticas agrícolas que mais contribuem para a participação do solo agrícola como emissor dos GEE está à utilização de fertilizantes nitrogenados minerais. Em alguns casos estima-se que a emissão de N₂O contribua com, aproximadamente, a metade do forçamento radiativo provocado pelos sistemas de produção (Moiser et al., 2005), justamente devido à adubação com N mineral. A utilização de fontes alternativas de N, como leguminosas, e também o aumento da eficiência do N na produção agrícola, é,

portanto, um passo importante para que os sistemas agrícolas contribuam ainda mais para a mitigação do aquecimento global.

Segundo Aita & Giacomini (2003), fontes alternativas de N, como as leguminosas, podem diminuir a emissão de N_2O e CH_4 , o que pode ser decorrente da liberação mais gradativa do N em comparação aos fertilizantes minerais.

O sincronismo da liberação de N pela cultura antecessora e a subsequente parece ser a melhor estratégia para reduzir a disponibilidade de N mineral no solo e por consequência mitigar as emissões de N_2O e favorecer a oxidação de CH_4 para minimizar o PAG em sistemas agrícolas (Mosier et al., 2005; Snyder et al., 2009; Pappa, 2011).

3. HIPÓTESES

- Em plantio direto, a utilização de leguminosas como plantas de cobertura de solo favorece a mitigação das emissões de gases de efeito estufa do solo nas condições da Depressão Central do RS.

- Sistemas de culturas que envolvem a utilização de espécies leguminosas de cobertura do solo em sistema plantio direto apresentam maiores emissões de óxido nitroso em comparação a um sistema exclusivamente composto por gramínea nas condições da Depressão Central do RS.

- O potencial de aquecimento global é negativo em sistemas conservacionistas de manejo nas condições da Depressão Central do RS devido principalmente ao influxo de dióxido de carbono.

- As variações nos fluxos de óxido nitroso e metano entre o solo e a atmosfera são determinadas pelas condições de umidade e temperatura do solo, teores de nitrogênio mineral (amônio e nitrato), carbono orgânico dissolvido e atividade biológica.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito de sistemas de cultura no balanço de gases de efeito estufa em Argissolo Vermelho nas condições da Depressão Central do RS, com ênfase às emissões de óxido nitroso.

4.2. Objetivos específicos

- Avaliar o potencial de aquecimento global de sistemas conservacionistas de manejo de solo, a partir do balanço do carbono no solo, emissão de óxido nitroso e de metano em Argissolo Vermelho.
- Estimar as emissões de óxido nitroso do solo em sistemas de culturas em plantio direto, e identificar as variáveis controladoras das emissões de óxido nitroso.

5. ESTUDO I
EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE UM ARGISSOLO
SUBTROPICAL NO PERÍODO PÓS-MANEJO DE PLANTAS
DE COBERTURA DE INVERNO

5.1 Resumo

A agricultura é vista como grande contribuidora para as emissões de GEE, sendo os solos agrícolas tropicais e subtropicais considerados os maiores emissores de N_2O e CH_4 para a atmosfera. O presente estudo foi realizado em dois experimentos de longa duração (24 e 26 anos) durante o período pós-manejo das culturas de inverno das safras 2009 e 2010. Objetivou-se verificar o efeito de sistemas de culturas que incluem leguminosas e gramíneas em sucessão ao milho [aveia/milho (A/M), ervilhaca/milho (V/M), aveia+ervilhaca/milho (A+V/M), aveia+ervilhaca/milho+caupi (A+V/M+C) e lablab + milho (LL+M)] sobre as emissões de N_2O e CH_4 de um Argissolo Vermelho em plantio direto, e identificar as variáveis controladoras dessas emissões sob as condições de clima subtropical do Rio Grande do Sul. Amostras de ar foram coletadas utilizando o método da câmara estática, e a concentração de N_2O e CH_4 analisada por cromatografia gasosa. Foram determinadas variáveis meteorológicas (temperatura do ar e precipitação pluviométrica) e parâmetros de solo (teor de NO_3^- , NH_4^+ , C solúvel e umidade). Os maiores picos de emissão de N_2O do solo ocorreram no período pós-manejo de 2009/10 ($637,5 \pm 42,2 \mu g N m^{-2} h^{-1}$), sendo estes aproximadamente

seis vezes maiores em comparação às emissões no pós-manejo de 2010/11 ($102,6 \pm 13,1 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). As maiores taxas de emissão de N_2O foram observadas nos sistemas V/M, A+V/M e A+V/M+C, e decorreram provavelmente da rápida taxa de decomposição do resíduo de ervilhaca pela baixa relação C/N, em comparação ao sistema A/M com resíduo de aveia. As emissões de N_2O foram determinadas pela PPA ($p < 0,0001$), o que sugere que o principal processo envolvido na produção do gás foi a desnitrificação. A relação positiva entre as emissões de N_2O e o volume de chuva acumulado dos três dias anteriores à avaliação dos gases no período pós-manejo 2009/10 ($p < 0,001$; $r^2 = 0,15$; $n = 70$) reforça o provável predomínio do processo de desnitrificação como gerador de N_2O . O solo comportou-se como um pequeno dreno de CH_4 , sendo maior nos tratamentos que incluem leguminosas como cobertura do solo e no período com menor intensidade de chuvas.

5.2 Introdução

O solo tem uma função importante na regulação da composição gasosa da atmosfera, e as práticas de manejo agrícola utilizadas influem na emissão dos GEE do solo para a atmosfera. Entretanto são poucos os estudos relacionados à emissão de GEE em sistemas agrícolas intensivos principalmente no trópico e no subtropico brasileiro.

A intensificação da agricultura geralmente, tende a aumentar a emissão de N_2O e também ocasiona um efeito inibidor no acúmulo (oxidação) de CH_4 no solo (Bronson & Mosier, 1994). No entanto, as práticas de manejo, o tipo de fertilizante, os tempos e o método de aplicação podem afetar consideravelmente os fluxos entre o solo e a atmosfera desses GEE (Mosier et al., 1998).

Sistemas conservacionistas de manejo do solo podem interferir na emissão de GEE. Estas emissões dependem, entre outros aspectos, da velocidade de decomposição dos resíduos culturais mantidos sobre a superfície do solo, especialmente quando se adotam rotações de culturas. Portanto, a disponibilidade do N e o tempo de imobilização após a adição dos resíduos culturais vão depender da degradabilidade destas culturas pelos

organismos do solo. Geralmente isso depende, entre outros aspectos, da relação C/N dos resíduos vegetais (Millar & Baggs, 2004).

Sistemas de produção agrícola que utilizam as leguminosas como plantas de cobertura tendem a apresentar maior emissão de N_2O do solo do que os sistemas com gramíneas exclusivamente (Eincher, 1990; Baggs et al., 2003). Porém, a rotação de culturas em sistemas conservacionistas com inclusão de leguminosas pode representar maior taxa de acúmulo de C no solo (Lovato et al., 2004). O acúmulo de C no solo pode constituir uma alternativa viável para mitigar as emissões de GEE, trazendo o mesmo benefício que as leguminosas ao adicionar N via fixação simbiótica, o qual reduz a necessidade da aplicação de fertilizantes nitrogenados minerais (Mackenzie et al., 1997; Dusenbury et al., 2008).

O presente estudo teve por objetivo verificar o efeito de sistemas de culturas sobre as emissões de N_2O e CH_4 em um Argissolo Vermelho sob PD, e identificar as variáveis controladoras destas emissões a fim de sugerir práticas de manejo que diminuam o impacto ambiental na emissão de GEE na região Sul do Brasil.

5.3 Material e Métodos

5.3.1 Localização e características do solo

A avaliação da emissão de GEE foi realizada em dois experimentos de manejo do solo de longa duração, instalados na Estação Experimental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) ($30^{\circ} 50' 52''$ S e $51^{\circ} 38' 08''$ O), situados no município de Eldorado do Sul, região da Depressão Central do RS. O clima é subtropical úmido Cfa, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de $19,2^{\circ}C$, variando entre $9^{\circ}C$ o mês mais frio e $30^{\circ}C$ o mais quente do ano (Bergamaschi et al., 2003). A precipitação média anual é de 1.440 mm, com curtos períodos de déficit hídrico no verão. O relevo da região é ondulado a suave ondulado, sendo a declividade média da área experimental de 5%, com altitude de 46 m.

O solo dos experimentos é um Argissolo Vermelho Distrófico típico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA,

2006), derivado de granito, com 220 g kg⁻¹ de argila. Os principais minerais na fração argila são caulinita (720 g kg⁻¹) e óxidos de ferro (109 g kg⁻¹).

5.3.2 Áreas experimentais

Na Figura 1 estão apresentados os croquis contendo os tratamentos e sua distribuição nas áreas experimentais.

A seguir é apresentada uma síntese dos tratamentos avaliados:

1. Aveia/milho (**A/M**) **Experimento 1.**
2. Ervilhaca/milho (**V/M**).
3. Aveia+ervilhaca/milho (**A+V/M**) **Experimento 2.**
4. Aveia+ervilhaca/milho+caupi (**A+V/M+C**)
5. Lablab+milho (**L+M**).

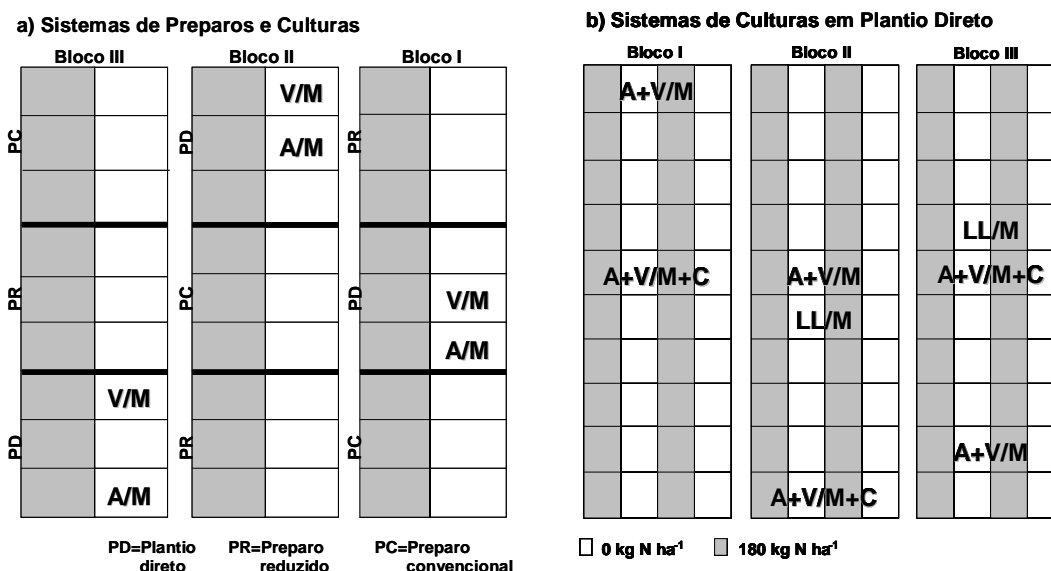


Figura 1. Croqui com a distribuição dos tratamentos a campo nos experimentos 1 **(a)** sistemas de preparos e culturas e experimento 2 **(b)** sistemas de culturas em plantio direto em consórcio com o milho.

O experimento 1 (Sistemas de preparos e culturas) (Figura 1a) foi instalado em 1985 em área que apresentava evidências de avançado grau de degradação física. O experimento segue um delineamento em blocos ao acaso,

com parcelas subdivididas, e três repetições. As parcelas principais (15 x 20 m) consistem em três preparos de solo: preparo convencional (PC), preparo reduzido (PR) e plantio direto (PD). Nas subparcelas (5 x 20 m) foram utilizados três sistemas de cultura: aveia (*Avena strigosa* Schreb)/milho (*Zea mays* L.) (A/M), ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.)/milho (V/M) e aveia+ervilhaca/milho+caupi (*Vigna unguiculata* L.) (A+V/M+C). Além desses tratamentos, os blocos foram divididos em duas faixas (45 m x 10 m) sendo aplicadas duas doses de N mineral na cultura do milho na forma de uréia (0 e 180 kg N ha⁻¹).

No PC, o preparo de solo consistiu em uma aração e duas gradagens na primavera, anterior à semeadura do milho; no PR os resíduos foram semi-incorporados ao solo por meio de uma escarificação, enquanto no PD o manejo das culturas de inverno consistiu na aplicação de herbicida dessecante à base de glifosato e passagem de rolo faca. As culturas de inverno foram semeadas todos os anos, nos meses de abril ou maio. O milho foi semeado sempre em setembro-outubro.

O experimento 2 (Figura 1b) foi instalado em 1983 em área adjacente ao experimento 1, a qual apresentava o mesmo histórico de degradação física pelo manejo inadequado. O experimento seguiu o delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, em três repetições. As parcelas principais (5 x 16 m) consistem em 10 sistemas de culturas, conduzidos em PD, enquanto nas subparcelas (5 x 4 m) são aplicadas duas doses de uréia (0 e 180 kg N ha⁻¹) na cultura do milho. Adicionalmente, na sua implantação os blocos foram divididos em duas faixas (50 x 8 m), sendo uma delas submetida à lavra profunda para eliminar a compactação do solo degradado. Destaca-se que todas as práticas culturais e demais procedimentos de condução deste experimento foram idênticos aos efetuados no experimento 1.

Todos os tratamentos foram avaliados na condição de plantio direto e sem adição de N mineral (0 kg N ha⁻¹).

Devido às constantes chuvas que ocorreram após o manejo das culturas de cobertura do solo, no período referente à 2009/10, a semeadura do milho foi realizada apenas 81 dias após o manejo das culturas. Já no período pós-manejo de 2010/11 o tempo entre o manejo das coberturas e a semeadura do

milho foi de apenas 6 dias. O milho recebeu como adubação de base 20 kg N ha⁻¹, 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O em todos os tratamentos.

No momento da amostragem, havia sobre o solo resíduos de aveia no sistema A/M, aveia e vica no sistema A+V/M e A+V/M+C e resíduos de lablab no sistema LL+M, em quantidades de MS, 3,30; 4,49; 5,42 e 4,62 Mg ha⁻¹ respectivamente. A aveia encontrava-se no estágio fenológico de grão leitoso e a viça em pleno florescimento, enquanto o caupi encontrava-se em estágio vegetativo.

5.3.3 Avaliação, amostragem e análise dos gases

No período pós-manejo 2009/10 as avaliações de emissão de N₂O e CH₄, utilizando câmaras estáticas, foram realizadas de outubro (2009) a janeiro (2010), totalizando 14 avaliações, que ocorreram aos 14, 18, 21, 24, 28, 31, 34, 42, 52, 59, 73, 80, 87 e 117 dias do período intensivo (Figura 2).

Em 2010/11, as avaliações foram realizadas aos dias 9, 13, 16, 21, 30, 37, 51, 65, 84, 97 e 119 nos meses de outubro a fevereiro, totalizando 11 avaliações em 119 dias do período de pós-manejo (Figura 2). Neste segundo ano, não foi avaliado o sistema LL+M.

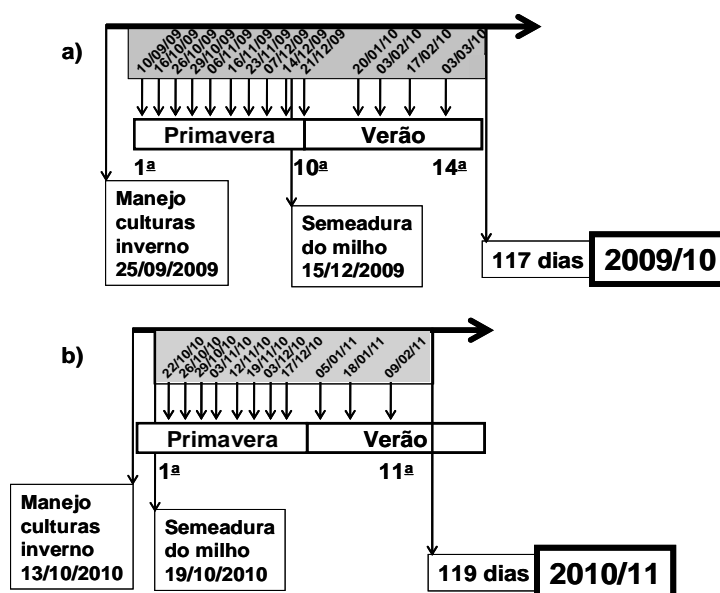


Figura 2. Cronograma de amostragem de ar realizada durante os períodos pós-manejo (a) 2009/10 e (b) 2010/11.

As câmaras foram compostas de uma base metálica retangular (40 cm x 80 cm) inserida no solo a 5 cm de profundidade, permanecendo nas parcelas durante todo o período de avaliação (Figura 3). Durante a coleta, se colocou água no canal localizado na parte superior da base para isolar a atmosfera interna e externa.



Figura 3. Vista geral da câmara estática (base e câmara) utilizada para coleta de gás.

As amostras de ar foram coletadas no intervalo entre as 9:00 e as 10:00h (Jantália et al., 2008) com a utilização de seringas de polipropileno de 20 mL. Para referenciar a concentração de gases no tempo zero se coletaram amostras de ar da atmosfera, e depois de fechadas as câmaras, aos 15, 30 e 45 min. O ar interno das câmaras foi previamente homogeneizado pelo acionamento de ventilador interno por 30s, sendo registrada a temperatura interna da câmara com termômetro digital. As seringas foram transportadas

em caixas térmicas ao Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do Departamento de Solos da UFRGS.

As análises de N₂O e CH₄ foram realizadas em um cromatógrafo a gás (Shimadzu GC 2014), equipado com colunas empacotadas a 70°C, N₂ como gás de arraste a um fluxo de 26 mL min⁻¹, injetor com alça de amostragem direta de 1 mL e temperatura de 250°C e detector de captura de elétrons (ECD) a 325°C. O equipamento é provido de um metanador que transforma o CO₂ em CH₄, o qual é quantificado em detector de ionização de chama (FID) trabalhando a uma temperatura de 250°C.

Os fluxos dos gases foram 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;

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 e

R é a constante universal dos gases (0,0821 L.atm K⁻¹ mol⁻¹).

A variação da concentração do gás no tempo foi obtida pelo coeficiente angular da equação da reta ajustada. As emissões médias diárias de N₂O e CH₄ foram obtidas pela média aritmética dos fluxos avaliados das três câmaras instaladas em cada tratamento e a emissão acumulada de cada período pós-manejo foi obtida pela integração da área sob a curva, estabelecida pela interpolação dos valores diários de emissão do gás do solo.

5.3.4 Variáveis de solo e meteorológicas

Concomitantemente às coletas de ar do solo para análise de concentração de GEE, avaliou-se a temperatura do solo (5 cm de profundidade) com geotermômetros, a umidade gravimétrica, e os teores de NH₄⁺ e de NO₃⁻ e de C orgânico dissolvido (COD) na camada de 0-10 cm. O

NH_4^+ e NO_3^- foram extraídos com KCl 1M e determinados por destilação de arraste de vapor em semi-micro Kjeldhal e titulação com solução ácida (Tedesco et al., 1995). O COD foi extraído por agitação horizontal da suspensão de 5 g de solo seco e 50 mL de água destilada (1:10) por 10 horas (Chantigny, 2003) e a concentração determinada por combustão seca em analisador Shimadzu TOC-V CSH.

A atividade microbiana foi avaliada pela quantificação do fluxo de CO_2 do solo, determinado a partir da análise da concentração do gás nas mesmas amostras de ar em que foi analisado o N_2O e o CH_4 (Baggs et al., 2003).

A partir dos valores de densidade do solo e de umidade gravimétrica calculou-se a porcentagem de porosidade preenchida por água (PPA).

$$\% \text{ PPA} = (u_g \times d_s) / (1 - d_s / D_p)$$

Onde:

- u_g : umidade gravimétrica (g g^{-1});
- d_s : densidade do solo (g cm^{-3}) e
- D_p : densidade de partícula, $2,65 (\text{g cm}^{-3})$.

Os estoques de N no solo (0-30 cm) determinados por Zanatta et al. (2007) e Vieira et al. (2008), foram calculados utilizando o método da massa equivalente de solo, nos dois experimentos.

No sentido de auxiliar para a interpretação dos resultados, dados diários da temperatura média do ar e de precipitação pluviométrica durante os períodos de coletas foram obtidos junto ao Setor de Meteorologia do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS (Figura 4).

Durante o ciclo da cultura do milho foram executadas irrigações (20mm) complementares a precipitação natural conforme a necessidade hídrica das plantas, as quais são apontadas na Figura 4.

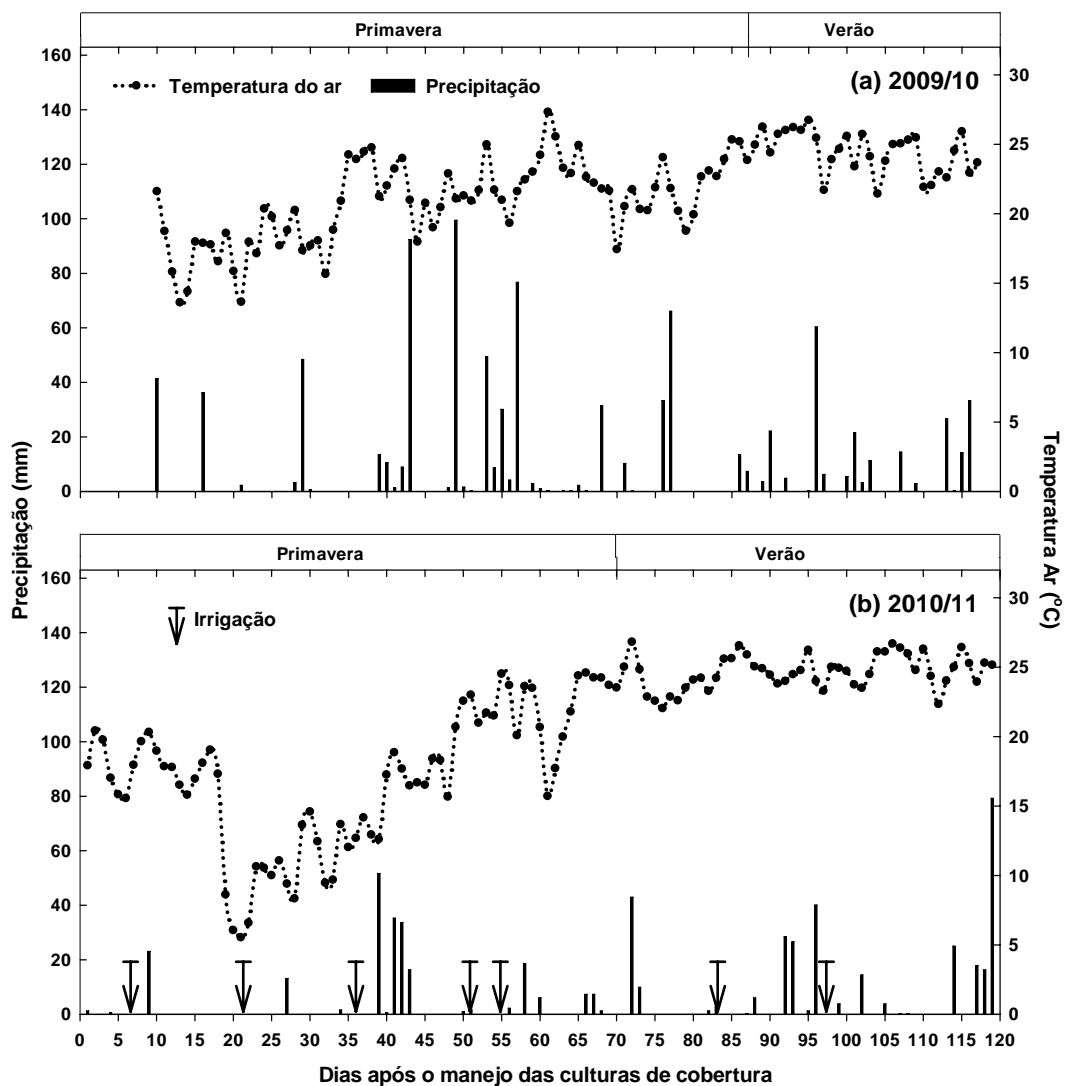


Figura 4. Distribuição da precipitação pluviométrica, temperatura média do ar e apontamento das irrigações complementares (20 mm) realizadas durante a avaliação das emissões de N_2O referente aos períodos pós-manejo **(a)** 2009/10 e **(b)** 2010/11.

5.3.5 Análise estatística

Análises descritivas (média \pm erro padrão) foram empregadas nas emissões diárias de N₂O, CH₄, temperatura do solo, atividade biológica (CO₂), PPA e os teores de NO₃⁻, NH₄⁺ e COD do solo. Para os resultados de N₂O e CH₄ foram consideradas três repetições, enquanto para COD e N mineral (NO₃⁻ e NH₄⁺) apenas duas repetições. A relação entre as variáveis foi avaliada pela significância do coeficiente de determinação (r^2) dos modelos de regressão.

As emissões acumuladas de N₂O e CH₄ foram submetidas à análise da variância e as diferenças entre médias comparadas pelo teste da Diferença Mínima Significativa (DMS) ao nível de 5 %.

Para relacionar as emissões de N₂O com a temperatura do solo, atividade biológica, PPA, teores de NO₃⁻, NH₄⁺ e COD do solo realizou-se a análise multivariada utilizando a análise de coordenadas principais, implementada no pacote estatístico MULTIV (Pillar, 1997). Nessa análise foram incluídos 5 tratamentos com 70 unidades amostrais (14 coletas) para o período pós-manejo referente à 2009/10, e 4 tratamentos com 44 unidades amostrais (11 coletas) para o período pós-manejo 2010/11.

5.4 Resultados e Discussão

5.4.1 Condições meteorológicas vigentes durante o período de estudo

As condições climáticas registradas no período pós-manejo 2009/10, durante os meses de outubro a janeiro (117 dias) foram caracterizadas pela maior precipitação (932 mm) (Figura 4a), volume de chuva equivalente a 65% da média local anual (1440 mm). Durante o período ocorreram freqüentes precipitações, sendo que em apenas cinco eventos foi registrado 39% do volume total anual. No período pós-manejo 2010/11 (119 dias), as chuvas foram menos freqüentes e a precipitação acumulada (545 mm) representou 38% do volume de chuva anual.

A temperatura média do ar no período pós-manejo de 2009/10 foi de 22°C (Figura 4a), sendo o período com a temperatura mais elevada, variando de 13,6°C a 31,1°C nas estações primavera/verão. No período pós-manejo de 2010/11 a média foi de 20°C, apresentando uma amplitude térmica variando de 5°C a 25°C (Figura 4b) para as mesmas estações.

Nesse sentido, as avaliações intensivas realizadas nos dois períodos pós-manejo foram importantes para estudar a influência dos sistemas de culturas nas emissões de N₂O, nas seguintes condições meteorológicas: altas temperaturas e freqüentes precipitações no pós-manejo 2009/10 e por baixas temperaturas e escassos eventos de chuva no pós-manejo 2010/11.

5.4.2 Emissões de N₂O do solo

Na fase inicial do período pós-manejo 2009/10 foram verificadas as maiores taxas de emissão de N₂O ($637,5 \pm 42,2 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) do solo (Figura 5a), sendo estas aproximadamente seis vezes maiores em comparação às taxas de emissão ($102,6 \pm 13,1 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) no pós-manejo de 2010/11 (Figura 5a).

As maiores emissões de N₂O nos dois períodos após o manejo das culturas de cobertura de inverno ocorreram no sistema A+V/M+C (Figuras 5a e 5b). A inclusão de leguminosas de inverno e de verão (ervilhaca e caupi) no sistema de culturas provocou aumento destas emissões quando comparado ao sistema que inclui somente a gramínea (aveia) (Figura 5).

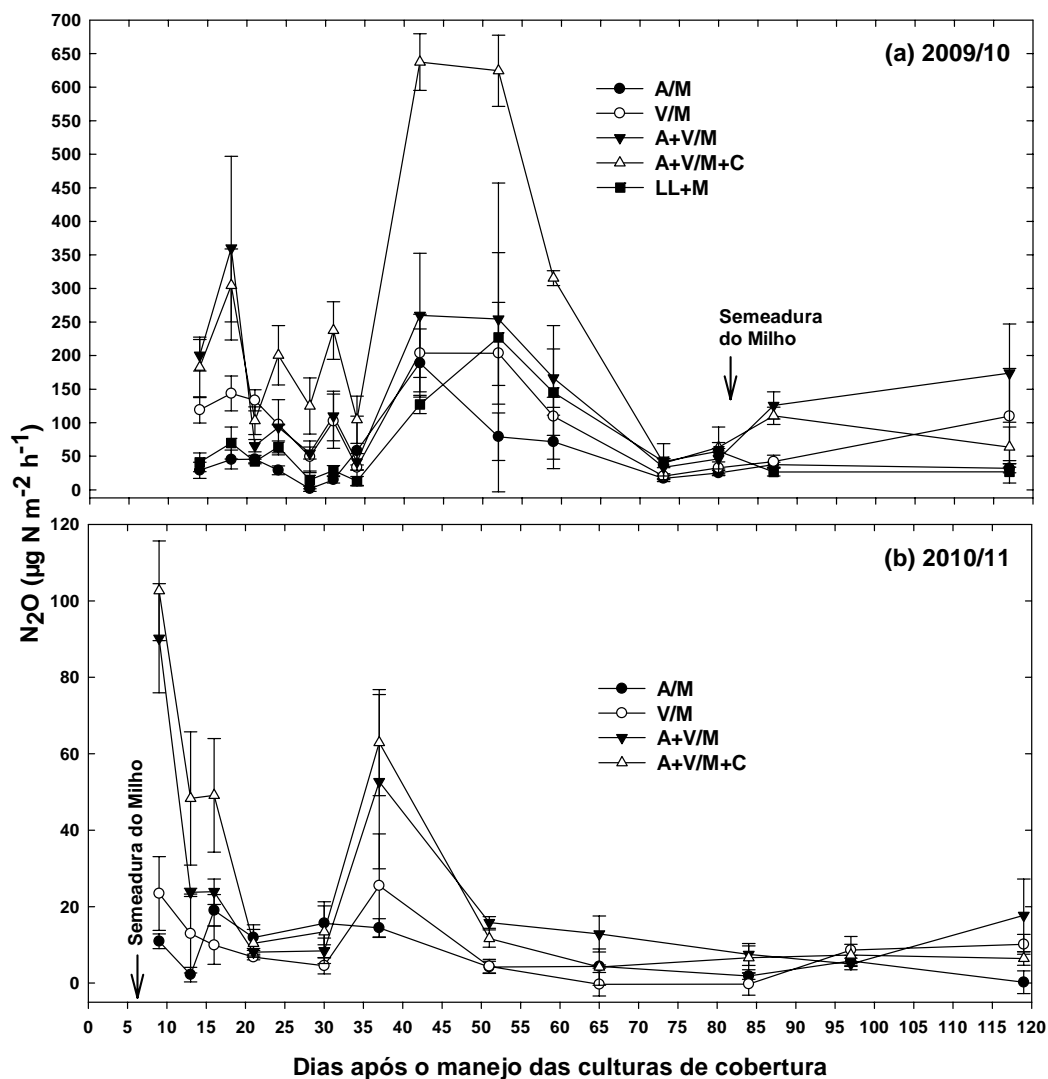


Figura 5. Emissões diárias de N_2O ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) no solo (a) no período pós-manejo 2009/10 e (b) pós-manejo 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da média. OBS: Deve ser observado que as diferentes escalas utilizadas no eixo das ordenadas (Y).

As maiores emissões de N_2O do solo no sistema A+V/M+C decorreram provavelmente da rápida taxa de decomposição do resíduo de ervilhaca pela baixa relação C/N, em comparação ao sistema A/M com resíduo de aveia (Figura 5) (Heinrichs et al., 2001). A capacidade da FBN por parte das leguminosas resulta em alto aporte de N pela cultura (Amado, 1997), o que determinou liberação de N mineral para o solo para os processos de nitrificação e desnitrificação pela população microbiana. A aveia, por sua vez, que possui uma maior relação C/N, determina processos de liberação mais lento e gradual do N (Aita & Giacomini, 2003). Estudos mostram que a relação C/N é um dos principais fatores que condiciona a velocidade de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais (Da Ros & Aita, 1996; Giacomini et al., 2003).

A diferença entre os dois períodos pós-manejo foram as condições meteorológicas, sendo estas determinantes na liberação de N pelas culturas de inverno e demanda do milho como cultura sucessora. No período pós-manejo 2009/10 a semeadura do milho foi realizada 81 dias após o manejo das coberturas, favorecendo maiores teores de N mineral no solo. Isto ocorreu devido às freqüentes chuvas, sendo estas determinantes no sincronismo com a época de maior mineralização. Portanto, houve N liberado pelos resíduos permitindo condições propícias para a produção do N_2O .

Já no período pós-manejo 2010/11, a semeadura do milho foi realizada seis dias após o manejo das culturas de cobertura, permitindo que diminuíssem consideravelmente as emissões de N_2O do solo, possivelmente pelo sincronismo que existiu entre a mineralização e absorção de N pela cultura em sucessão (Figura 4 e 5) (Aita, 1997).

Nos dois períodos pós-manejo verificaram-se diferenças na dinâmica das taxas de emissões de N_2O para os sistemas A/M e V/M. Enquanto no sistema com aveia (A/M) as emissões de N_2O se mantiveram baixas ao longo dos períodos, no sistema com ervilhaca (V/M) as emissões foram maiores (Figura 5). Isto ocorreu possivelmente à mineralização mais rápida do N presente nos resíduos vegetais da leguminosa quando comparada ao sistema com aveia (A/M). Esses resultados concordam com os encontrados por Gomes (2006) na mesma área experimental.

Destaca-se que nos dois períodos pós-manejo, as maiores emissões de N_2O foram em dias posteriores a eventos com chuva. No pós-manejo 2009/10,

caracterizado pelas precipitações freqüentes (Figura 4), as emissões de N_2O foram mais intensas (Figura 5). Possivelmente os ciclos de umedecimento e secagem do solo causado pelas precipitações sob altas temperaturas do ar (Figura 4) estimulam à atividade de bactérias desnitrificantes que atuam na produção e, por conseqüência, na maior emissão de N_2O para atmosfera (Baggs, 2003; 2006; Gomes et al., 2009).

As emissões médias acumuladas de N_2O ($2,86 \pm 0,43$ kg N ha^{-1}) no período pós-manejo 2009/10 foram aproximadamente nove vezes maiores que as médias observadas no pós-manejo 2010/11 ($0,32 \pm 0,08$ kg N ha^{-1}) para os sistemas avaliados (Figura 6). Possivelmente, a diferença foi pelo N liberado dos resíduos das plantas de coberturas ao solo, pela maior temperatura próxima aos $22^\circ C$ e pela ocorrência de eventos de chuva mais freqüentes em 2009/10, que não permitiram a pronta semeadura do milho.

No período pós-manejo 2009/10 a emissão acumulada de N_2O no sistema A+V/M+C ($5,37 \pm 0,20$ kg N ha^{-1}) apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) com os outros sistemas avaliados (Figura 6). No entanto, a diferença foi maior com o sistema A/M ($1,31 \pm 0,26$ kg N ha^{-1}), provavelmente devido ao processo de imobilização do N, dos resíduos da gramínea (aveia) pela alta relação C/N.

Já no período pós-manejo 2010/11 não foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,05$) nas emissões acumuladas entre os sistemas (Figura 6). Neste período, possivelmente, pela semeadura do milho logo após o manejo das plantas de cobertura, diminuiu os teores de N mineral no solo e, conseqüentemente, as emissões de N_2O .

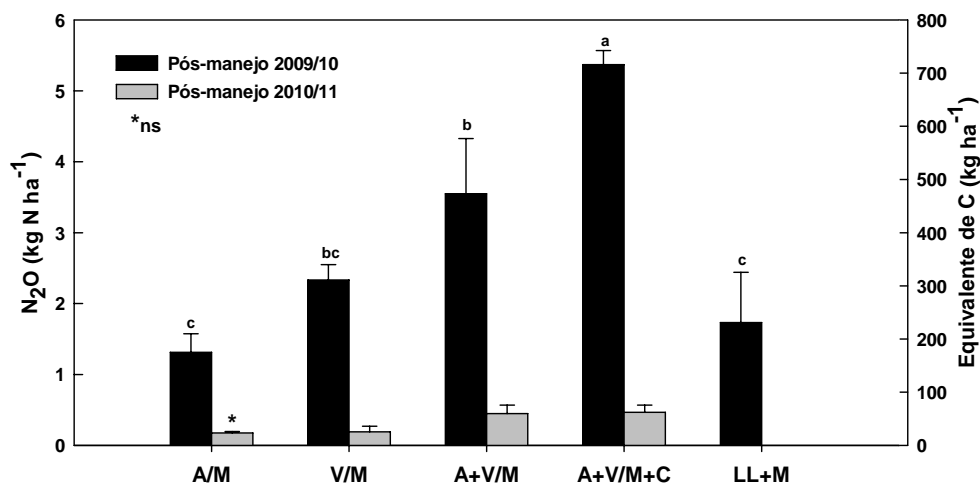


Figura 6. Emissão acumulada de N_2O ($kg\ N\ ha^{-1}$) nos períodos pós-manejo 2009/10 e 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho: A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab+Milho) em plantio direto. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada ano agrícola, não diferem entre si pelo teste DMS a 5%. Barras verticais indicam o erro padrão da média. ns= não significativo ($p < 0,05$).

5.4.3 Variáveis controladoras das emissões de N_2O nos períodos pós-manejo

As emissões acumuladas de N_2O apresentaram relação positiva com o estoque de N do solo (Figura 7a), explicando 85% das variações nas emissões nos sistemas de culturas avaliados no período pós-manejo 2009/10. Estudos apontam que solos com alto conteúdo de C orgânico e de N, aliados, ao alto teor de umidade, podem originar condições para incrementos das emissões de N_2O (FAO-IFA, 2004; Drury, et al., 2004; Rochette et al., 2008).

Verificou-se na figura 7a, que houve uma grande diferença entre os sistemas de culturas com leguminosas quanto às emissões de N_2O , a qual foi relacionada diretamente com o aporte anual de N ao solo pelas culturas, com exceção do lablab que apresentou uma emissão menor proporcionalmente às demais espécies frente à alta quantidade de N que é adicionada ao solo. O lablab com alto teor de N pode ter apresentado uma baixa taxa de decomposição dos resíduos e diminuir a mineralização de N e posterior produção de N_2O . Portanto, não foi considerado o sistema LL+M no ajuste da reta obtida. Já no período pós-manejo 2010/11, os estoques de N do solo explicaram 66% das emissões (Figura 7b).

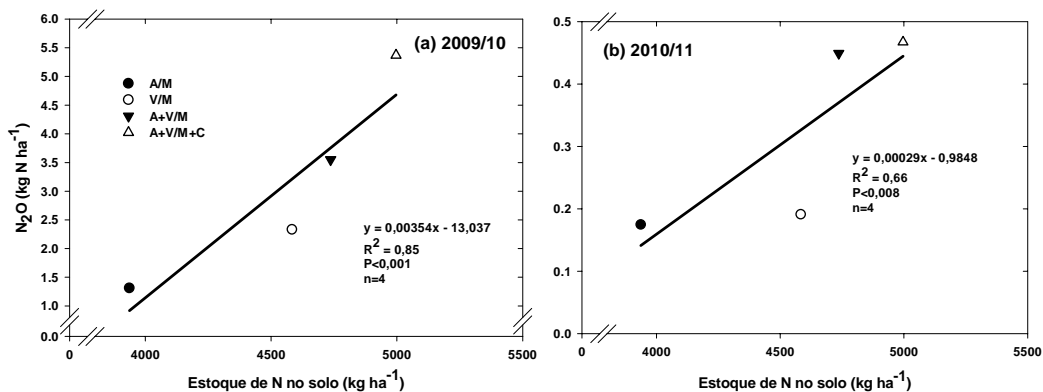


Figura 7. Relação entre a emissão média acumulada de N_2O ($kg\ ha^{-1}$) com o estoque de nitrogênio do solo (0-30 cm) para os períodos pós-maneios **(a)** 2009/10 e **(b)** 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho; A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi) em plantio direto. Deve ser observado que as diferentes escalas utilizadas no eixo das ordenadas (Y).

Neste estudo não foi verificada relação para a emissão de N_2O com a concentração de NO_3^- , COD e a temperatura do solo nos sistemas de culturas.

As variações nos valores de PPA apresentadas entre os dois períodos pós-manejo (Figura 8 e 9) ocorreram em relação às frequentes chuvas. Deve-se destacar que aproximadamente 65% da precipitação anual total verificada em 2009/10 ocorreram após o manejo das plantas de cobertura de inverno. Assim, quando a maior emissão de N_2O neste estudo foi registrada, esta coincidiu com os maiores valores de PPA e teores de N mineral (NH_4^+ e NO_3^-) (Figura 8) liberado dos resíduos vegetais, fazendo com que possivelmente os processos de nitrificação e desnitrificação se intensificaram (Baggs 2003; 2006).

Nos períodos pós-manejo 2009/10 e 2010/11 os teores de N mineral foram maiores nos tratamentos que incluíram leguminosas quando comparado com o tratamento A/M (Figura 8 e 9). A adição de N associada com a ervilhaca e subsequente decomposição dos resíduos teriam contribuído para o maior teor de N mineral observado. A disponibilidade de N para os microrganismos do solo nestes tratamentos provavelmente foi o fator determinante das emissões de N_2O (Snyder et al., 2009; Pappa et al., 2011).

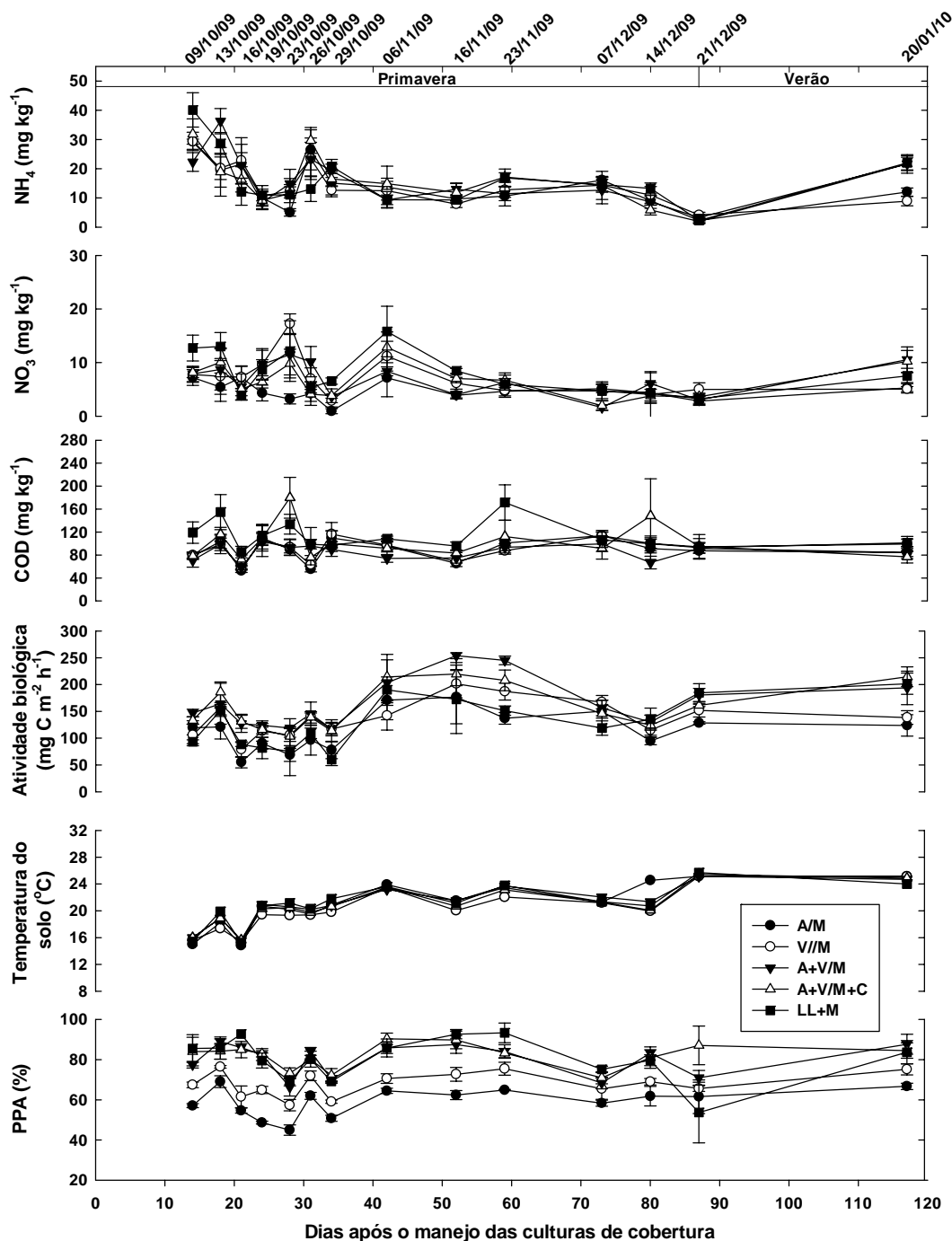


Figura 8. PPA, temperatura do solo, atividade biológica, teores de NO₃⁻ e NH₄⁺ no pós-manejo 2009/10 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V//M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

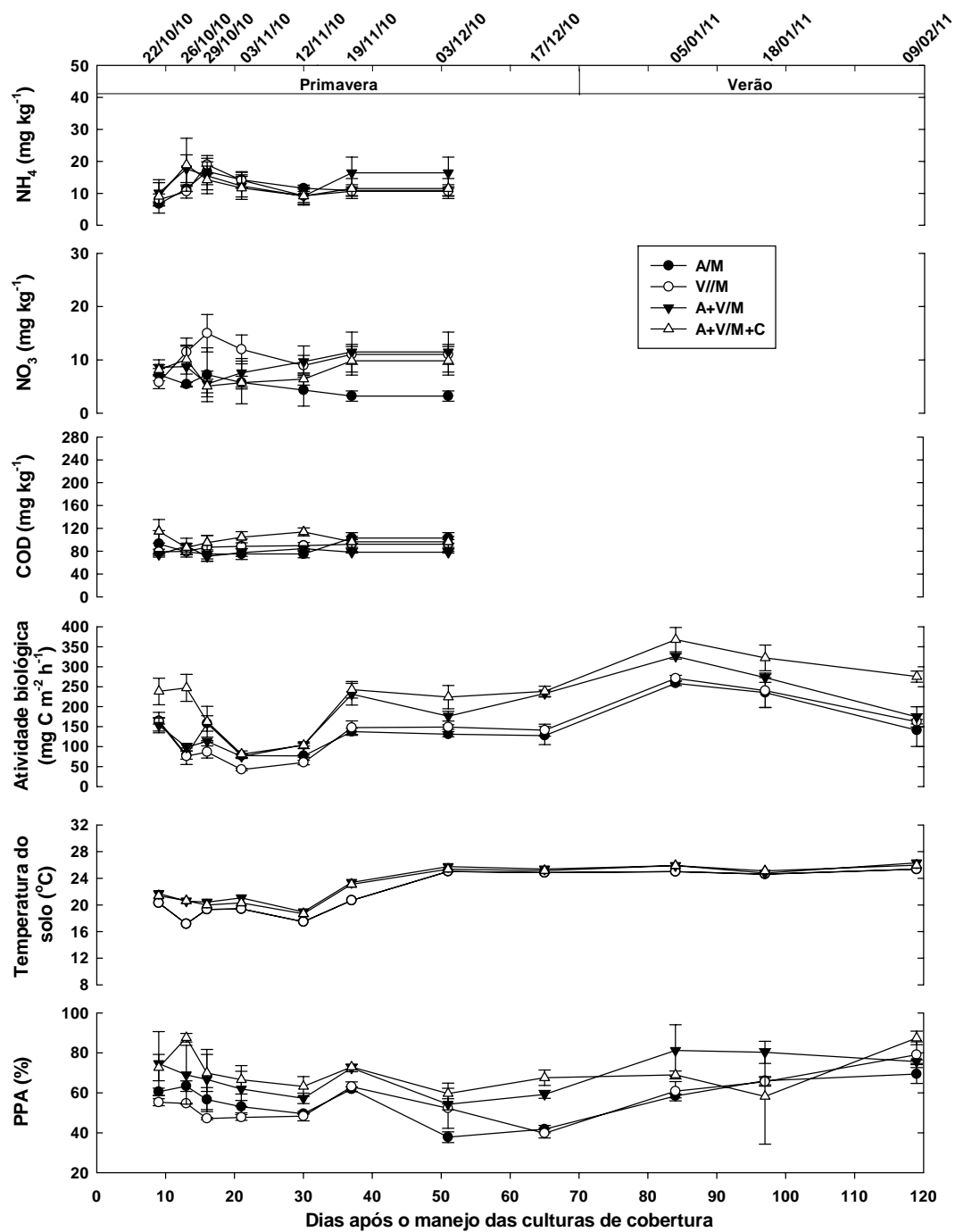


Figura 9. PPA, temperatura do solo, atividade biológica, teores de NO₃⁻ e NH₄⁺ no pós-manejo 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Os maiores picos de emissão de N_2O ocorreram quando os valores de PPA estavam acima de 60% (Figura 8 e 9), sendo isto determinado numa análise conjunta considerando todas as avaliações, onde se observou uma relação exponencial positiva ($p < 0,0001$; $r^2 = 0,36$; $n = 70$) entre emissão de N_2O e a PPA no período pós-manejo 2009/10 (Figura 10a), de igual maneira foi observada relação positiva ($p < 0,0001$; $r^2 = 0,19$; $n = 44$) para o pós-manejo 2010/11 (Figura 11).

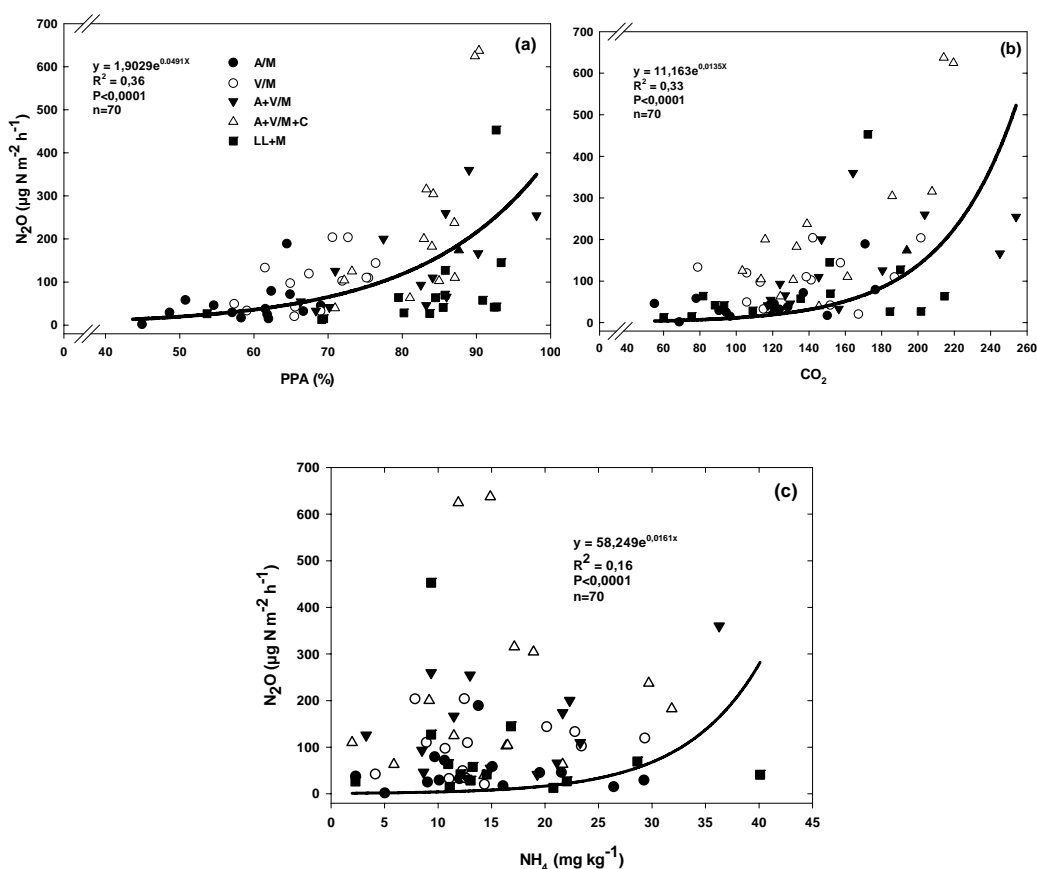


Figura 10. Relação entre a emissão diária de N_2O ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) com **(a)** a porosidade preenchida por água (PPA), **(b)** atividade biológica (CO_2) e **(c)** amônio (NH_4^+) do solo no período pós-manejo 2009/10 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto.

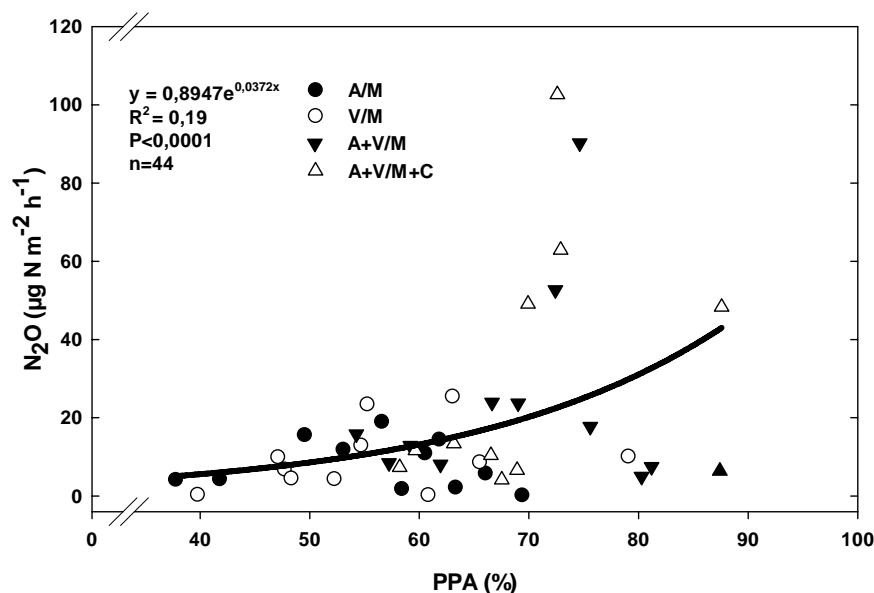


Figura 11. Relação entre a emissão diária de N_2O ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) no solo com a porosidade preenchida por água (PPA) no período pós-manejo 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi) em plantio direto.

Na mesma área experimental de campo do presente estudo, Gomes (2006) e Zanatta (2009), encontraram a mesma relação, mantendo sempre a tendência de aumento nas emissões após eventos de chuva. Porém na região Sul do Brasil, estudos indicam uma tendência de emissão de N_2O anual superior em sistemas conservacionistas (PD) em relação ao convencional, pelo gradiente de umidade que se apresenta no solo.

A relação positiva entre as emissões de N_2O e o volume de chuva acumulado dos três dias anteriores à avaliação dos gases no pós-manejo 2009/10 ($p < 0,001$; $r^2 = 0,15$; $n = 70$) reforça o provável predomínio do processo de desnitrificação (Baggs et al., 2006; Almaraz et al., 2009; Hernandez-Ramirez et al., 2009). Já para o pós-manejo 2010/11 não foi encontrada esta relação com o volume de chuva acumulado ($p < 0,09$; $r^2 = 0,07$; $n = 44$).

No período pós-manejo 2009/10 verificou-se relação exponencial positiva ($p < 0,0001$; $r^2 = 0,33$; $n = 70$) entre a emissão de N_2O com a atividade biológica (CO_2) (Figura 10b), possivelmente essa maior taxa de CO_2 pode estar relacionada com a maior decomposição dos resíduos vegetais (C e N lábeis),

que consome o O_2 disponível e cria condições anaeróbicas, favoráveis para a produção de N_2O via desnitrificação (Firestone & Davidson, 1989). Em solos aerados a alta umidade e o C solúvel adicionado pelo resíduo das culturas, propiciam o desenvolvimento de sítios anaeróbicos, favorecendo a emissão de N_2O (Ball et al., 1999; Baggs, 2003). Já para o pós-manejo 2010/11 não foi encontrada esta relação entre os sistemas.

A maior disponibilidade de N e condições de PPA acima de 60% provavelmente favoreceram a atividade microbiana (Figura 10b) das bactérias desnitrificadoras no solo, resultando assim em maior emissão de N_2O (Oenema et al., 1997). Isto ocorre devido à formação de condições anaeróbicas ideais para as bactérias desnitrificadoras (Smith et al., 2003; Baggs et al., 2003; Gomes, 2006; Zanatta, 2009).

Na figura 10c, verificou-se que a relação entre as emissões de N_2O e a concentração de NH_4^+ no solo, só explicou 16% das variações nas emissões nos sistemas de culturas para o período pós-manejo 2009/10, apesar dos teores de NH_4^+ terem atingido concentrações relativamente elevadas no solo, indicando que o fator determinante neste período foi realmente a PPA, independentemente dos teores de NH_4^+ .

O sistema A/M se caracterizou por apresentar as menores emissões de N_2O , as quais estiveram aliadas à menor atividade biológica, menores teores de N mineral, PPA e estoque de N no solo encontrados (Figura 9), portanto não proporcionou condições favoráveis para que os processos de nitrificação ou desnitrificação intensificassem a produção de N_2O .

5.4.4 Emissões de CH_4 do solo

A emissão de CH_4 apresentou variação temporal para os dois períodos pós-manejo, sendo prevacente nos tratamentos a tendência em absorver CH_4 , independente do sistema de cultura utilizado (Figura 12).

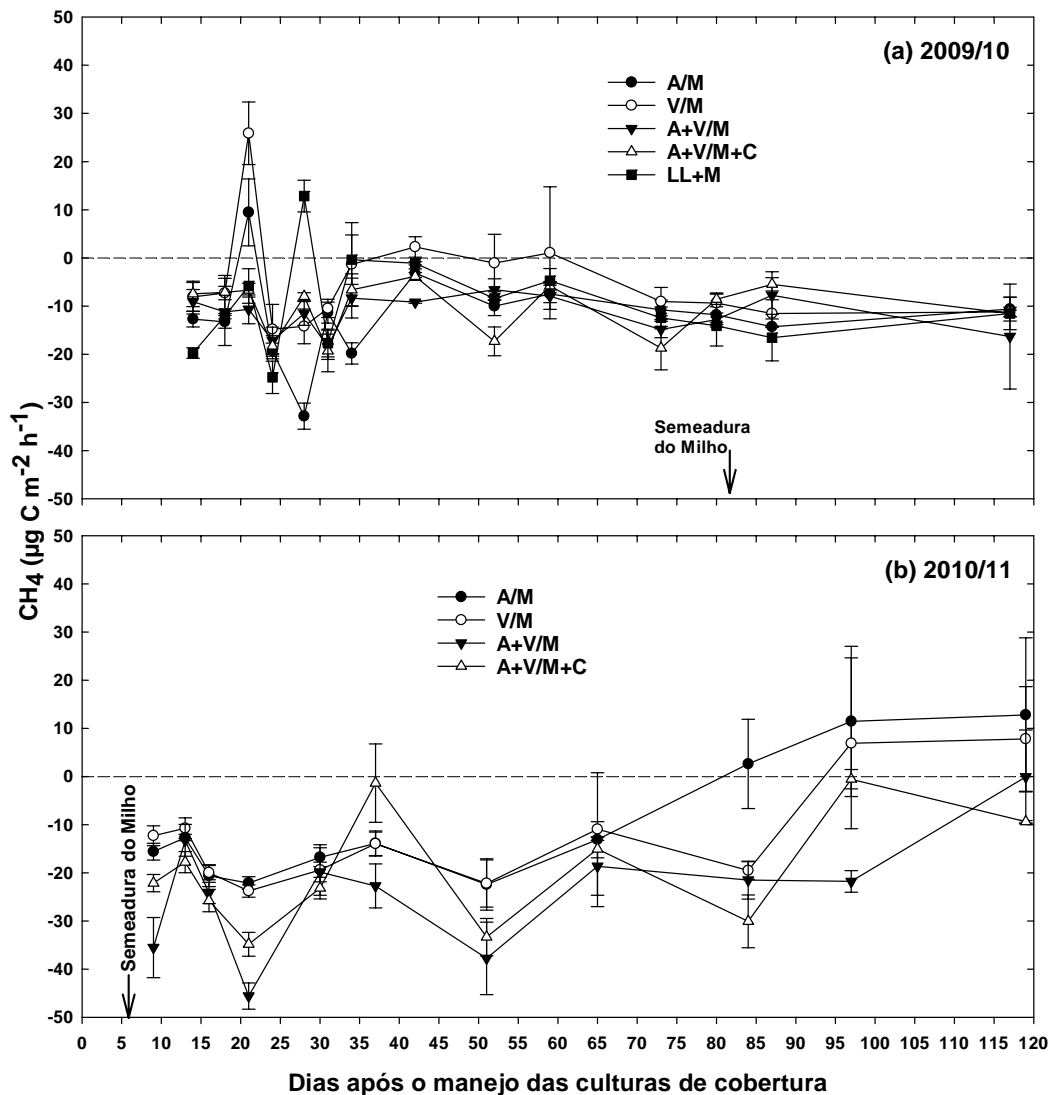


Figura 12. Emissões diárias de CH₄ (µg m⁻² h⁻¹) no solo **(a)** no período pós-manejo 2009/10 e **(b)** pós-manejo 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

No período pós-manejo 2009/10 (Figura 12a) foram observados picos de emissão de CH₄ aos 21 e 28 dias após o manejo das plantas de cobertura de inverno, nos tratamentos V/M (25,9±6,5 µg C m⁻² h⁻¹), LL+M (12,8±3,3 µg C m⁻² h⁻¹) e A/M (9,4±6,9 µg C m⁻² h⁻¹), especificamente nos dias com mais precipitação (Figura 4), em contraste ao período pós-manejo 2010/11 (Figura 12b), caracterizado pela absorção de CH₄. Possivelmente a alta variação nas emissões de CH₄ estejam relacionadas aos períodos secos e chuvosos durante as coletas. No período pós-manejo 2009/10 as leguminosas de inverno (ervilhaca) e de verão (lablab) influenciaram fazendo com que o solo passasse a emitir CH₄, possivelmente, devido ao alto aporte de N pela biomassa das culturas, que conduz a altas concentrações de NH₄⁺ (Figura 8). Já no período pós-manejo 2010/11, se apresentou absorção, provavelmente devido a que as plantas de milho em desenvolvimento, diminuíram a concentração de NH₄⁺ no solo (Figura 12), o qual inibe a metanotrofia (Hütsch, 1998; Reay et al., 2004; Omonode et al., 2007).

Embora a relação entre a emissão de CH₄ com a concentração de NH₄⁺ nos tratamentos avaliados não tenha sido significativa (p<0,55; r²=0,24; n=70), os picos de emissão de CH₄ nos tratamentos A/M; V/M e LL/M tenderam a estarem relacionados com a concentração de NH₄⁺, (Figura 13), sugerindo a prevalência do processo de metanogênese (Omonode et al., 2007).

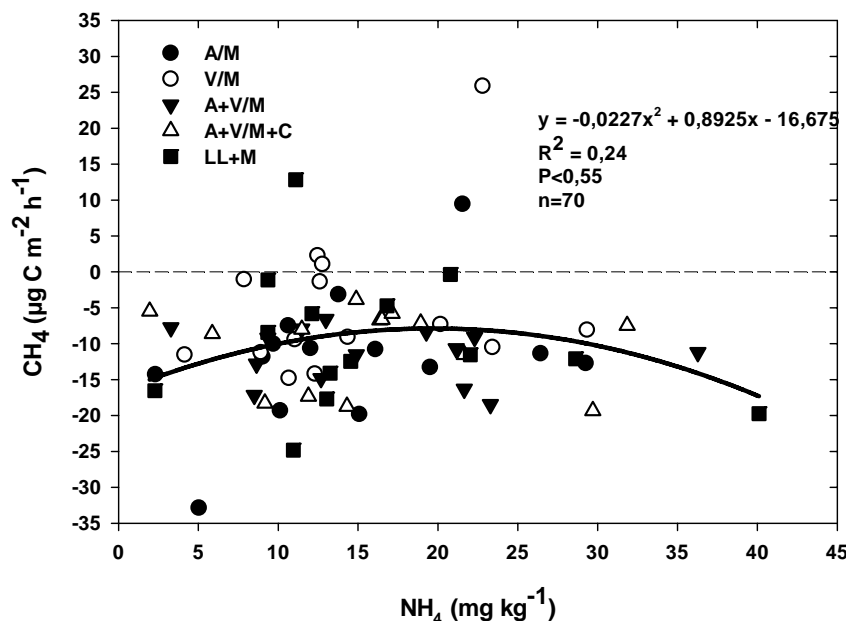


Figura 13. Relação entre a emissão diária de CH_4 ($\mu\text{g C m}^{-2} \text{h}^{-1}$) no solo com a concentração de NH_4^+ no período pós-manejo 2009/10 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi e LL/M: Lablab/Milho) em plantio direto.

Os sistemas de culturas no período pós-manejo 2010/11 mantiveram a tendência de absorção de CH_4 , principalmente entre os 9 e 65 dias após o manejo das plantas de cobertura de inverno, sem grandes variações entre eles (Figura 12b). Já a partir de 85 dias os sistemas A/M e V/M apresentaram emissões de CH_4 em maior escala com $12,8 \pm 14,9 \mu\text{g C m}^{-2} \text{h}^{-1}$ e $7,8 \pm 9,9 \mu\text{g C m}^{-2} \text{h}^{-1}$ respectivamente. Já no período pós-manejo 2009/10 (Figura 12a), este efeito ocorreu a partir de 60 dias, mostrando uma tendência de influxo de CH_4 . Isto é atribuído à capacidade das bactérias em oxidar CH_4 e pelas oscilações nas precipitações durante o período (Ball et al., 1999; Smith et al., 2000; Omonode et al., 2007).

O influxo de CH_4 observado a partir dos 60 dias após o manejo das plantas de cobertura de inverno no período pós-manejo 2009/10 (Figura 12a) se manteve até o final das avaliações, possivelmente relacionado à maior oxidação do CH_4 pela diminuição da atividade microbiana (Figura 8) e devido

às variações da temperatura e PPA que interfere na propriedade física do solo afetando o desenvolvimento das bactérias metanogênicas (Hütsch, 1998).

Condições de baixa umidade e temperatura na metade da primavera (outubro/novembro), no período pós-manejo 2010/11, associado ao fato de aporte dos resíduos das culturas (C e N lábeis) proporcionaram ambientes favoráveis para que a metanotrofia fosse maximizada devido a uma maior adaptação da população bacteriana metanotrófica nesse ambiente (Ler Mer & Roger, 2001). No período pós-manejo 2009/10 as condições meteorológicas de freqüentes precipitações favoreceram a atividade das bactérias metanogênicas (Figura 8).

Apesar de não apresentar relação significativa entre a emissão de CH_4 do solo com a PPA, nos dois períodos pós-manejos 2009/10 ($p < 0,87$; $r^2 = 0,19$; $n = 70$) e 2010/11 ($p < 0,60$; $r^2 = 0,17$; $n = 44$), é possível que os picos de emissão de CH_4 , no pós-manejo 2009/10, estivessem associados com o comportamento da PPA, que foi coincidente com valores acima de 60% para esses dias de maior emissão (Figura 8 e 12).

Por outro lado, no período pós-manejo 2009/10 caracterizado pelas freqüentes precipitações, não foi verificada relação positiva entre a emissão de CH_4 com a precipitação acumulada três dias antes da coleta (Figura 14). Já no período pós-manejo 2010/11 com volume de chuva menor, a precipitação acumulada explicou 40% da emissão de CH_4 . Possivelmente produzido pelas condições anaeróbicas ideais para a metanogênese e baixa adição de N, principalmente no tratamento com gramínea (A/M), que limita a atividade de bactérias metanotróficas (Ler Mer & Roger, 2001).

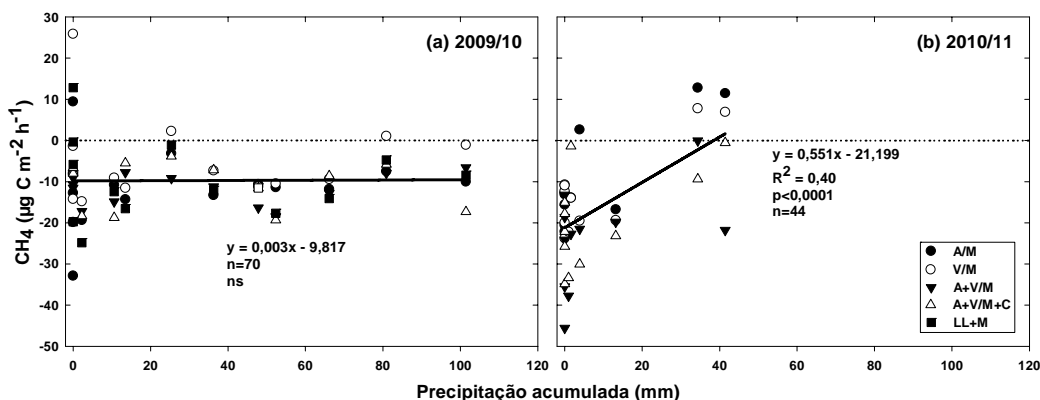


Figura 14. Relação entre a precipitação acumulada nos três dias anteriores à avaliação dos gases e o fluxo diário de CH_4 do solo nos períodos pós-manejos **(a)** 2009/10 e **(b)** 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto.

No período pós-manejo 2009/10 a emissão acumulada de CH_4 nos sistemas de culturas não apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos, prevalecendo a oxidação de CH_4 independente do sistema de cultura (Figura 15).

As emissões acumuladas de CH_4 no pós-manejo 2010/11 apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os sistemas de culturas (Figura 15) especialmente entre o tratamento A+V/M ($-0,60 \text{ kg C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) e A/M ($-0,09 \text{ kg C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$), devido possivelmente, ao alto potencial pela leguminosa (ervilhaca) de aporte de resíduos vegetais ao solo em sistemas conservacionistas (Lovato et al., 2004), melhoraram sua capacidade da oxidação de CH_4 no solo (Boderlier & Laanbroek, 2004), quando comparado com a gramínea (aveia), resultados também observados por Gomes (2006) neste experimento.

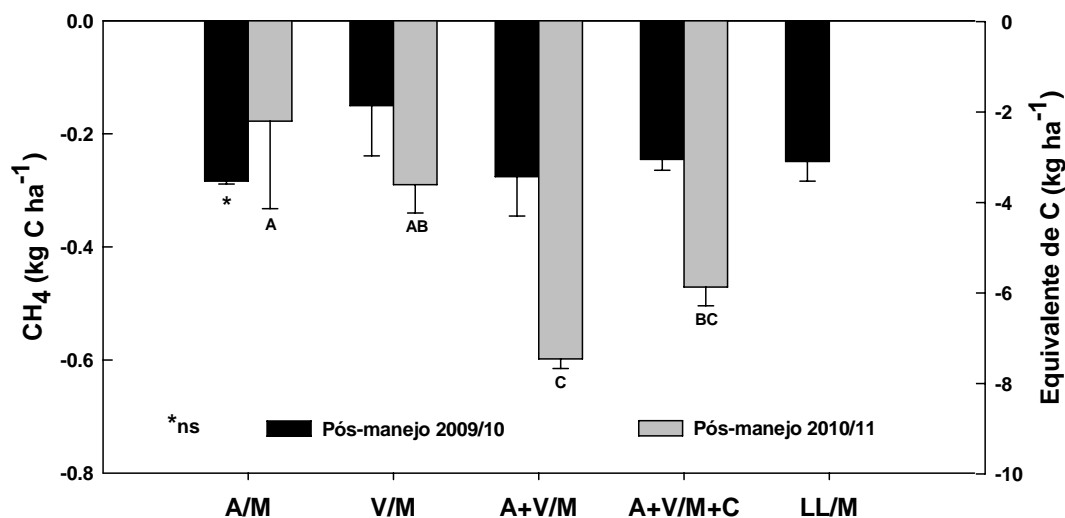


Figura 15. Emissão acumulada de CH₄ (kg ha⁻¹) no solo nos pós-manejos 2009/10 e 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto. Média seguida pela mesma letra, dentro de cada ano agrícola, não diferem entre si pelo teste DMS a 5%. Barras verticais indicam o erro padrão da média. ns= não significativo (p<0,05).

5.4.5 Análise multivariada das variáveis controladoras das emissões de N₂O

O método das coordenadas principais foi utilizado neste estudo para auxiliar na identificação das variáveis controladoras da emissão de N₂O no solo em sistemas de culturas avaliados nos dois períodos pós-manejo (2009/10 e 2010/11). Estes comportamentos encontram-se relacionados nos diagramas de dispersão (Figura 16 e 17).

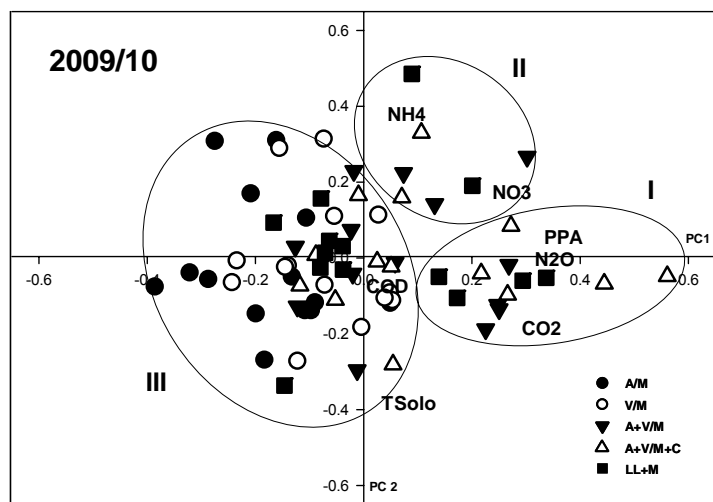


Figura 16. Diagrama de dispersão das variáveis avaliadas e os sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/M, A+V/M, A+V/M+Caupi, LL+M: Lablab+M) no pós-manejo 2009/10 (117 dias). Os grupos formados pela similaridade entre sistemas de manejo estão indicados como I, II e III.

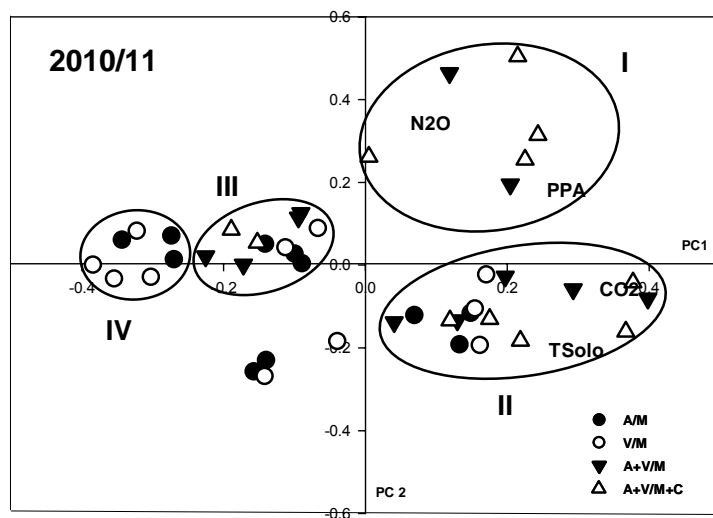


Figura 17. Diagrama de dispersão das variáveis avaliadas e os sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/M, A+V/M, A+V/M+Caupi, LL+M: Lablab+M) no pós-manejo 2010/11 (119 dias). Os grupos formados pela similaridade entre sistemas de manejo estão indicados como I, II, III e IV.

Para o período pós-manejo 2009/10 os eixos 1 e 2 explicaram, respectivamente, apenas 33,5% e 26,6% da variabilidade dos dados. As variáveis que apresentaram maior coeficiente de correlação com o eixo 1 foram o NO_3^- , CO_2 e PPA. O eixo 2 apresentou correlação com o NH_4^+ e a temperatura do solo (Tabela 1). A análise de agrupamento separou os tratamentos em três grupos principais (Figura 16).

Tabela 1. Coeficientes de correlação entre as variáveis avaliadas em um Argissolo Vermelho no pós-manejo 2009/10 nos sistemas de culturas e os eixos de ordenação obtidos na análise de coordenadas principais.

Variáveis	Eixo 1	Eixo 2
Autovalores	2,34	1,86
Porcentagem	33,50	26,63
N_2O ($\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$)	0,80	-0,01
CO_2 ($\text{mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$)	0,74	-0,42
NH_4^+ (mg kg^{-1})	0,18	0,86
NO_3^- (mg kg^{-1})	0,62	0,39
Temp. Solo ($^\circ\text{C}$)	0,19	-0,87
PPA (%)	0,83	0,12
COD (mg kg^{-1})	0,10	-0,17

As observações do grupo I caracterizaram-se por apresentar maior emissão de N_2O , maior atividade biológica (CO_2) e altos valores de PPA e NO_3^- (Figura 16). Neste grupo encontram-se observações dos tratamentos A+V/M, A+V/M+C e LL+M (Figura 5a e 16) e a relação com as variáveis acima mencionadas sugerem a produção de N_2O pelo processo de desnitrificação.

O grupo II caracterizou observações dos sistemas de culturas com as altas concentrações de NH_4^+ e NO_3^- sugerindo a atuação dos processos de nitrificação e desnitrificação na produção de N_2O no tempo em que os resíduos da mistura de aveia e ervilhaca nestes tratamentos eram decompostos. No grupo III estão representadas observações com as menores emissões de N_2O

durante o período, apresentando também menor atividade biológica, PPA e teor de NO_3^- , condições que provavelmente não favoreceram a produção do gás (Figura 16).

No período pós-manejo 2010/11 a dispersão no eixo 1 foi explicado com 50,5% da variabilidade dos dados e o eixo 2 explicou 32,3% (Tabela 2). As variáveis que correlacionaram mais com o eixo 1 foram o CO_2 , PPA e a temperatura do solo. A análise de agrupamento separou os tratamentos em quatro grupos principais (Figura 17). Observações no grupo I explicam que a maior emissão de N_2O está relacionada com os altos valores de PPA obtidos para este período (Figura 17). Enfatizando para os sistemas de culturas A+V/M e A+V/M+C (Figura 9 e 17), a relação desta variável com a emissão de N_2O sugere que a produção do gás foi realizada sob condições de anaerobiose, favorecendo a atividade de bactérias desnitrificantes. No grupo II observou-se que os sistemas de culturas relacionam-se com a atividade biológica e a temperatura do solo (Figura 17).

Tabela 2. Coeficientes de correlação entre as variáveis avaliadas em um Argissolo Vermelho no pós-manejo 2010/11 nos sistemas de culturas e os eixos de ordenação obtidos na análise de coordenadas principais.

Variáveis	Eixo 1	Eixo 2
Autovalores	2,02	1,29
Porcentagem	50,48	32,33
N_2O ($\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$)	0,24	0,88
CO_2 ($\text{mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$)	0,92	-0,15
Temp. Solo ($^{\circ}\text{C}$)	0,76	-0,53
PPA (%)	0,73	0,47

A alta emissão de N_2O nos períodos pós-manejo é devido aos resíduos de leguminosas, ricos em N, no fornecimento deste elemento ao solo (Baggs et al., 2006; Snyder et al., 2009). A adição de N estimula a atividade microbiana que pode consumir o O_2 disponível criando micro-sítios de anaerobiose, que

favorecem a atividade de bactérias desnitrificadoras (Jenkinson et al., 1985; Rochette et al., 2004). Embora sejam reconhecidas as vantagens da utilização de leguminosas em sistemas conservacionistas, os resultados de emissão de N_2O obtidos nestos períodos chamam a atenção para a liberação de N na ocasião do manejo das culturas de cobertura de inverno provocando a emissão deste GEE. No período pós-manejo 2009/10, as emissões de N_2O foram intensificadas pela alta precipitação que, juntamente com a adição e decomposição de resíduos das culturas de cobertura, favoreceram a desnitrificação. Por outro lado, no período pós-manejo 2010/11, as condições climáticas permitiram semear o milho de forma imediata melhorando com isso a sincronia entre a liberação de N dos resíduos e a absorção por parte da cultura na sucessão.

5.5 Conclusões

As emissões de óxido nitroso foram maiores no ano chuvoso que causou atraso na semeadura do milho e foram determinadas pelo estoque de N do solo. A utilização de sistemas de cultura com leguminosas de inverno e de verão resultou em maiores emissões de óxido nitroso do que sistemas com leguminosas apenas no inverno ou no verão. A utilização apenas de aveia como cultura de cobertura de inverno resultou nas menores emissões.

Os resultados mostraram o potencial das leguminosas em aumentar as emissões de óxido nitroso quando a cultura sucessora não é estabelecida imediatamente após o manejo das coberturas de inverno devido ao excesso de chuva.

No período pós-manejo, as emissões de óxido nitroso se relacionaram diretamente com a porosidade preenchida por água e atividade biológica, o que sugere que o principal processo envolvido na produção do gás foi a desnitrificação.

O solo comportou-se como dreno de metano, sendo o influxo maior nos tratamentos que incluem leguminosas como cobertura do solo e no ano que não ocorreu excesso de chuvas.

6. ESTUDO II

BALANÇO ANUAL DE GASES DE EFEITO ESTUFA E POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL EM SISTEMAS DE MANEJO DE SOLO NA DEPRESSÃO CENTRAL DO RS

6.1 Resumo

Sistemas conservacionistas de manejo do solo são considerados como estratégia viável para mitigação de GEE em sistemas de produção agrícola. O presente estudo foi realizado em dois experimentos de longa duração (24 e 26 anos) na safra 2009/10 e teve como objetivo avaliar o PAG calculado das emissões de N₂O, CH₄ e no balanço de C no solo em sistemas de culturas que incluem leguminosas em sucessão com milho [aveia/milho (A/M), ervilhaca/milho (V/M), aveia+ervilhaca/milho (A+V/M), aveia+ervilhaca/milho+caupi (A+V/M+C) e lablab+milho (LL+M)] em um Argissolo Vermelho, na Depressão Central do RS. Amostras de ar foram coletadas utilizando o método da câmara estática, e a concentração de N₂O e CH₄ analisada por cromatografia gasosa. Foram determinadas variáveis meteorológicas (temperatura do ar e precipitação pluviométrica) e parâmetros de solo (teor de NO₃⁻, NH₄⁺, C solúvel e umidade). As maiores emissões de N₂O da safra ocorreram no período pós-manejo das plantas de cobertura de inverno, e variaram de 0,62 (±0,79) a 637,45 (±42,12) µg N-N₂O m⁻² h⁻¹, sendo o sistema A+V/M+C o que apresentou maiores taxas de emissão de N₂O, enquanto que no sistema com A/M obteve-se a menor emissão. A variação temporal das

emissões de N₂O do solo foram relacionadas com a PPA ($p < 0,0001$; $r^2 = 0,24$; $n = 135$) e com o aumento da atividade biológica (CO₂) ($p < 0,0001$; $r^2 = 0,21$; $n = 135$) no solo. O estoque de N do solo explicou 78% das variações nas emissões acumuladas de N₂O posteriores ao período pós-manejo (264 dias) da safra. As mais altas emissões de N₂O foram obtidas logo após os eventos de chuva, evidenciando a influência da desnitrificação na produção de N₂O. As altas emissões de N₂O do solo nos sistemas de culturas se refletiram nos valores de PAG positivo. A taxa de retenção de C no solo nos sistemas de culturas que utilizaram leguminosas como plantas de cobertura de solo contrabalançou as altas emissões de N₂O.

6.2 Introdução

A agricultura é uma prática que contribui para as emissões de GEE principalmente, CH₄, CO₂ e N₂O. Estima-se que 20% do incremento anual do forçamento radiativo global são provenientes do setor agrícola (IPCC, 2007), sem incluir a fração (15%) correspondente às mudanças pelo uso da terra relacionadas com atividades agrícolas (Smith et al., 2007; IPCC, 2007). Isto ocorre, entre outros fatores, pelo uso de fertilizantes nitrogenados minerais, fixação biológica de nitrogênio atmosférico (FBN), adição de dejetos de origem animal e incorporação de resíduos agrícolas, são responsáveis por significativas emissões de N₂O e CH₄ no solo (Lima et al., 2001; IPCC, 2007).

O PAG é um índice que integra os balanços dos GEE e proporciona uma estimativa da contribuição dos diferentes manejos do solo ao aquecimento global, e se expressa em termos de C equivalente (Mosier et al., 2004; Smith et al., 2007; IPCC, 2007; Pappa, 2011).

A crescente busca por alternativas visando à mitigação dessas emissões aliada ao seqüestro de C no solo (Baggs et al., 2003; Grant et al., 2004; Venterea et al., 2005; Drury et al., 2006; Omonode et al., 2011), é fundamental para o setor agropecuário no mundo todo, no sentido de produzir alimentos, fibras e biocombustíveis com sustentabilidade, sobretudo no aspecto ambiental (Mosier, 2002; Raddatz, 2007; Pappa et al., 2011), mas o desafio agora está em encontrar estratégias tão ou mais eficientes do que as atuais.

Entretanto, são poucos estudos que têm comparado o potencial de redução das emissões de N_2O comparativamente ao uso de fertilizantes nitrogenados. No Sul do Brasil, Gomes (2006) comparando a mesma dose de N aplicado por resíduos de ervilhaca e por ureia na cultura do milho, reportou emissões três vezes menores para o uso de leguminosas (34 mg N m^{-2}), do que via fertilizante mineral (101 mg N m^{-2}) num período de 52 dias.

Um fator crítico pouco considerado, mas que pode determinar os verdadeiros efeitos sobre as emissões de N_2O , é o intervalo de tempo no qual as práticas de manejo e a rotação de culturas são estabelecidas, já que, em longo prazo, estas podem resultar em alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, podendo influenciar nos estoques de C e na dinâmica de N no solo (Choudhary et al., 2002; Rochette et al., 2008).

Os resíduos aportados pela rotação de culturas, quando são retornados ao solo em diferentes quantidades e qualidades, passam a ser os principais responsáveis pelo aumento das emissões de N_2O do solo. Além disso, a magnitude das emissões deste gás é influenciada pelo teor de água no solo (Mackenzie et al., 1997; Baggs et al., 2000; Velthof et al., 2002), pelo histórico das culturas (Drury et al., 2008) e o conteúdo de O_2 (Drury et al., 1992), entre outros fatores.

O N_2O é produzido principalmente por processos microbiológicos de nitrificação e/ou de desnitrificação. As condições climáticas somadas às práticas de manejo do solo determinam qual processo vai ocorrer, sendo na maioria dos casos, o da desnitrificação (Pappa et al., 2011). Práticas de manejo podem influenciar nesses processos. O PD, por exemplo, reduz perdas por evaporação, resultando em mais conteúdo de água para o solo, que é associado com a diminuição da temperatura no solo (Rice & Smith, 1982) e a presença de bactérias desnitrificantes (Gomes et al., 2009; Pappa et al., 2011).

Os solos aerados podem atuar como sumidouro ou fonte de CH_4 . A emissão ou absorção de CH_4 pelo solo é regulada pelos processos de produção e de oxidação do CH_4 . A produção de CH_4 no solo ocorre pela atividade das bactérias metanogênicas que, em condições restritas de O_2 , oxidam os compostos orgânicos a CH_4 (Hütsch, 1998). Por outro lado, a oxidação do CH_4 no solo ocorre pela atividade das bactérias metanotróficas que são hábeis para utilizar o CH_4 como fonte de C e energia. As bactérias

metanotróficas são aeróbias, heterotróficas e, portanto, a disponibilidade de O_2 é condição fundamental à sua atividade em solos agrícolas (Conrad, 1989; Gomes, 2006).

A interação entre as características do solo, temperatura e os níveis de precipitação local, com o tipo de manejo do solo e a fonte de N irão determinar a influência na capacidade de oxidação de CH_4 no solo. Desta maneira, é necessário buscar o manejo adequado para as condições de solo e clima local para que este atue como mitigador da emissão de CH_4 pelos solos.

A contribuição da agricultura para o efeito estufa antropogênico pode ser reduzida, sendo o desenvolvimento de sistemas de manejo do solo com capacidade para mitigar as emissões de GEE uma importante etapa (Janzen et al., 1998; Bayer et al., 2006; Gomes et al., 2009; Zanatta et al., 2010).

Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de aquecimento global em sistemas de culturas no PD, por meio da avaliação das emissões de N_2O e CH_4 juntamente com a taxa de retenção de C num Argissolo Vermelho Distrófico, na Depressão Central do RS.

6.3 Material e Métodos

6.3.1 Período de avaliação, amostragem e análise dos gases

A avaliação de GEE foi realizada, na safra 2009/2010, conforme observado na Figura 1.

As avaliações de emissão de N_2O e CH_4 , através da utilização de câmaras estáticas (Figura 3) foram realizadas entre os meses de outubro de 2009 até outubro de 2010, totalizando 27 coletas, que ocorreram aos 14, 18, 21, 24, 28, 31, 34, 42, 52, 59, 73, 80, 87, 117, 131, 145, 159, 178, 199, 255, 262, 283, 304, 318, 340, 358 e 381 dias após o manejo das culturas de coberturas de inverno (Figura 18).

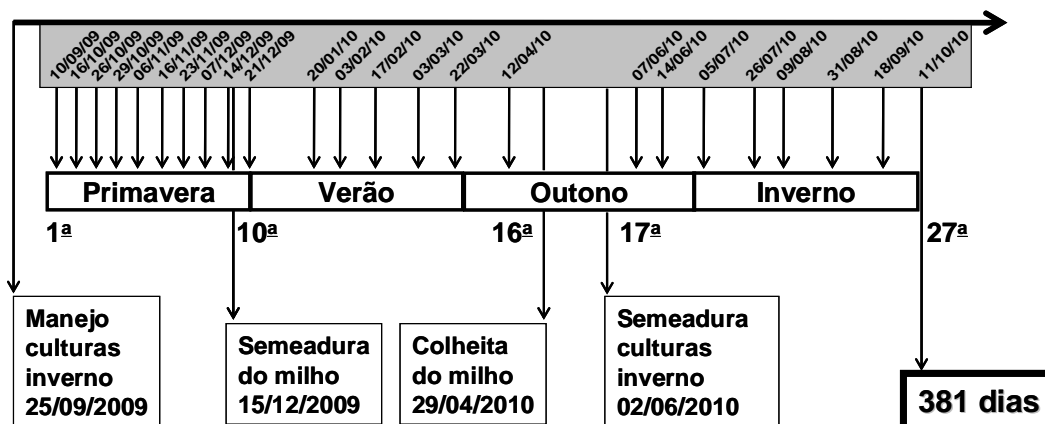


Figura 18. Cronograma de amostragem de ar realizada durante a Safra 2009/10.

Nos primeiros 117 dias após o manejo das coberturas de solo as avaliações foram realizadas com maior frequência (coletas intensivas), sendo denominado de período pós-manejo nesta safra. Já a partir deste período as coletas de gases foram quinzenais até o final (381 dias).

A metodologia de amostragem e análises dos fluxos de gases do solo utilizado neste estudo foi idêntica àquelas descritas no Estudo I.

6.3.2 Variáveis de solo e meteorológicas

Concomitantemente às coletas de ar foram avaliadas a temperatura do solo (5 cm de profundidade) com geotermômetros, a umidade gravimétrica, os teores de NH_4^+ e de NO_3^- e de C orgânico dissolvido (COD) na camada de 0-10 cm. O NH_4^+ e NO_3^- foram determinados por destilação de arraste de vapor em semi-micro Kjeldhal e titulação com solução ácida (Tedesco et al., 1995). O COD foi extraído por agitação horizontal da suspensão de 5 g de solo seco e 50 mL de água destilada (1:10) por 10 horas (Chantigny, 2003) e a concentração determinada por combustão seca em analisador Shimadzu TOC-V CSH.

A atividade biológica foi avaliada pela quantificação do fluxo de CO₂ do solo, determinado a partir da análise da concentração do gás nas mesmas amostras de ar em que foram analisados o N₂O e o CH₄ (Baggs et al., 2003).

A partir dos valores de densidade do solo e de umidade gravimétrica calculou-se a porosidade preenchida por água (PPA), descrito no Item 5.2.4 do Estudo I.

Os estoques de N no solo (0-30 cm) determinados por Zanatta et al. (2007) e Vieira et al. (2008), foram calculados utilizando o método da massa equivalente de solo, nos dois experimentos.

No sentido de auxiliar na interpretação dos resultados, dados diários da temperatura média do ar e a precipitação pluviométrica durante os períodos de coletas foram obtidos junto ao Setor de Meteorologia do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS (Figura 19).

Durante o ciclo da cultura do milho foram executadas irrigações (20 mm) complementares a precipitação natural conforme a necessidade hídrica das plantas, as quais são apontadas na Figura 19.

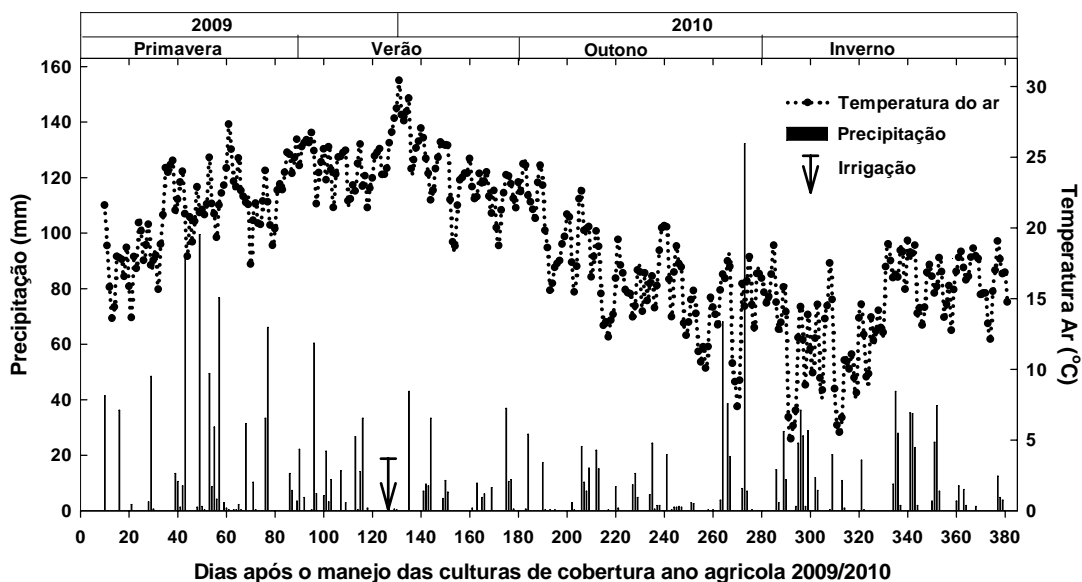


Figura 19. Distribuição da precipitação pluviométrica, temperatura média do ar e apontamento da irrigação complementar (20 mm) realizada durante a avaliação das emissões de N₂O e CH₄ na safra 2009/10.

6.3.3 Potencial de aquecimento global dos sistemas de manejo

O PAG integra os balanços dos GEE (CO_2 , N_2O e CH_4) dos sistemas de manejo do solo e se expressa em $\text{kg CE ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Mosier et al., 2006). Neste estudo, para o cálculo foram utilizadas as emissões acumuladas de N_2O , CH_4 , determinadas diretamente por cromatografia gasosa, enquanto os estoques de C no solo na camada de 0-30 cm, obtidos nos dois experimentos foram apresentados por Zanatta et al. (2007) e Vieira et al. (2008) e os custos das operações e insumos agrícolas para o PD no experimento 1 e 2 é de 113,05 $\text{kg CE ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e 123,33 $\text{kg CE ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ respectivamente (Tabela 3) (Lal, 2004).

As emissões de N_2O e CH_4 foram convertidas para quantidades equivalentes de C (CE). Para isso, considera-se o PAG das moléculas de N_2O e do CH_4 , que é 298 e 25 vezes maior do que de uma molécula de CO_2 (IPCC, 2007). Para o cálculo utilizou-se a seguinte equação:

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

Os fatores de conversão de 81,27 [$298/(44/12)$] para N_2O e 6,81 [$25/(44/12)$] para CH_4 , são referentes à conversão das emissões anuais dos respectivos gases para quantidades anuais equivalentes de C.

No cálculo do PAG foram considerados também os custos das atividades agrícolas e dos insumos utilizados no sistema de manejo, expressados em quantidade equivalente de C- CO_2 (Tabela 3), baseados em levantamento apresentado em Lal (2004). O PAG relativo de cada sistema foi calculado em relação ao sistema PC A/M (1082,17 $\text{kg Ceq ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) de experimento adjacente apresentado por Escobar (2011), como referência do sistema tradicionalmente utilizado na região.

Tabela 3. Estimativa dos custos em carbono equivalente (CE) das operações e insumos agrícolas. Adaptado de Lal (2004).

Prática de manejo/insumo	Quantidade consumida	kg CE/un. insumo	CE (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Operação agrícola		Diesel (L ha⁻¹ ano⁻¹)	
- Aração	17,5	0,80	14,00
- Gradagem	7,4 (x2)	0,80	11,84
- Semeadura PC	3,2	0,80	2,56
- Semeadura PD	3,8	0,80	3,04
Irrigação			
- Bombeamento	25 cm ano ⁻¹	128,90	10,31
- Instalação		6,74	6,74
Fertilizante		Fertilizante (kg ha⁻¹ ano⁻¹)	
- N	20	1,30	26,00
- P ₂ O ₅	50	0,20	10,00
- K ₂ O	50	0,15	7,50
- CaCO ₃	(Exp.2) 231	0,16	37,00
	(Exp.1) 167		26,72
Defensivos agrícolas		Ing. ativo (kg ha⁻¹ ano⁻¹)	
- Herbicida	6,3	1,80	11,34
- Aplicação			1,40
Colheita			
- Milho			10,00
Total para o PD			
	Exp.2.		123,33
	Exp.1.		113,05

A intensidade das emissões de gases de efeito estufa (IGEE) foi calculado como a razão entre o PAG ($\text{kgCE ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) e rendimento de grãos do milho (Mg ha^{-1}), que indica o potencial de produzir grãos com o mínimo impacto ambiental de um sistema de produção agrícola (Mosier et al., 2006; Gomes, 2006). No cálculo, considerou-se o rendimento médio de grãos de milho obtidos ao longo de 26 anos do experimento (Lovato et al, 2004; Weber, 2010).

6.3.4 Análise estatística

O efeito dos sistemas de culturas sobre as emissões diárias e totais de N_2O e CH_4 do solo foi avaliado por meio da análise descritiva dos dados (média \pm erro padrão). Para isso foram consideradas três repetições para os gases e duas repetições para o COD e N mineral. A significância dos coeficientes de regressão das emissões de N_2O com a temperatura, atividade biológica, PPA, COD e teores de NH_4^+ e NO_3^- do solo foi analisada ao nível de 5% do modelo de regressão linear e polinomial.

As emissões acumuladas de N_2O e CH_4 foram submetidas à análise da variância e as diferenças entre médias comparadas pelo teste da Diferença Mínima Significativa (DMS) ao nível de 5 %.

Para analisar as interações entre as emissões de N_2O , temperatura, atividade biológica (CO_2), PPA e teores de NO_3^- , NH_4^+ e COD do solo foram submetidos à análise multivariada utilizando a análise de coordenadas principais, implementada no pacote estatístico MULTIV (Pillar, 1997). Foram analisadas 135 unidades amostrais nos 5 tratamentos avaliados durante as 27 coletas realizadas.

6.4 Resultados e Discussão

6.4.1 Condições meteorológicas vigentes durante o período de estudo

O período de outubro de 2009 a outubro de 2010 foi caracterizado por um excesso de chuva (2215 mm) (Figura 19), sendo 35% superior do que a média local anual (1440 mm). A temperatura média do ar nesse período foi de 18,4°C (Figura 19), sendo 4% menor que a média anual (19,2°C). Também foi constatada elevada amplitude térmica, variando de 5°C a 31°C, com tendência de temperaturas declinantes ao longo do período estudado (Figura 19). A temperatura média diária variou de 13°C a 31°C no período da primavera/verão e de 5°C a 23°C no período outono/inverno.

6.4.2 Emissões de N₂O do solo

Na Figura 20a está apresentado o comportamento do período avaliado (381 dias) nas emissões médias diárias de N₂O do solo, que variaram de 0,62±0,79 a 637,45±42,12 µg N-N₂O m⁻² h⁻¹. Verificou-se que as maiores emissões, principalmente nos sistemas com leguminosas, ocorreram no período imediatamente posterior ao manejo dos resíduos vegetais, o que foi provavelmente relacionado aos elevados teores de N mineral no solo e freqüentes eventos de chuva.

No período pós-manejo (117 dias) a média de emissão de N₂O nos tratamentos foi de 115,66±31,54 µg N-N₂O m⁻² h⁻¹, representando 86% da emissão acumulada para o período total (381 dias), sendo a média da emissão após o pós-manejo de 16,77±5,69 µg N₂O m⁻² h⁻¹ (14%).

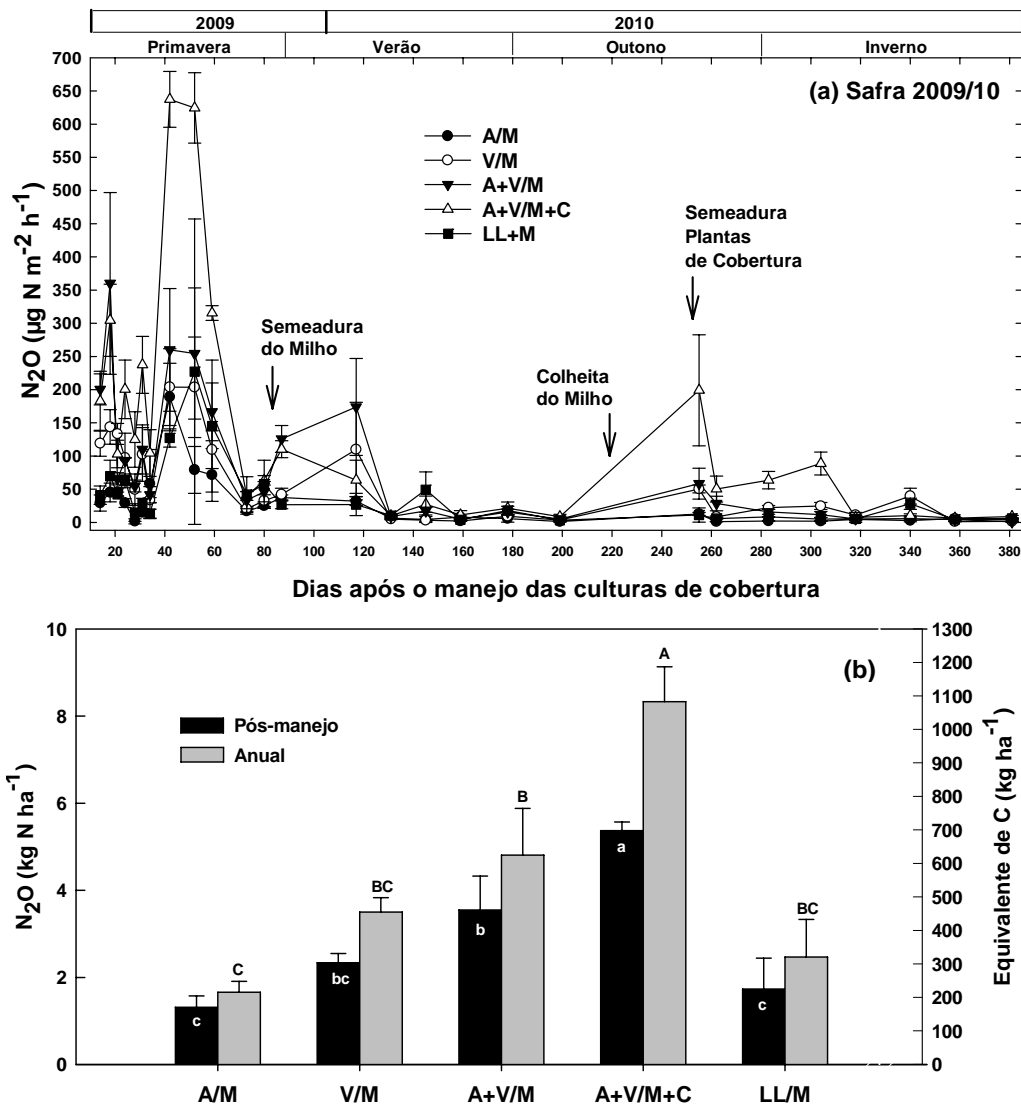


Figura 20. Emissões médias diárias de N_2O ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) do solo **(a)** e acumuladas (kg ha^{-1}) na safra 2009/10 **(b)** em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto. Média seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste DMS a 5%. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Entre 42 e 52 dias após o manejo das plantas de cobertura de inverno, o sistema A+V/M+C apresentou picos de emissão de N_2O maiores que $600 \mu\text{g N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (Figura 20a). Este sistema destacou-se pela maior emissão média diária ($222,24 \pm 31,93 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$) entre todos os tratamentos avaliados no período pós-manejo.

As altas emissões de N_2O no sistema A+V/M+C ($134,19 \pm 23,19 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$) decorreram provavelmente do alto aporte de N pelos resíduos das leguminosas no inverno (ervilhaca) e no verão (caupí). As emissões de N_2O no sistema A+V/M+C foram cinco vezes maiores (80%) que às emissões do sistema A/M ($27,17 \pm 9,91 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$). Este apresentou a emissão mais baixa durante a safra (Figura 20).

Os resultados das emissões de N_2O do solo obtidas neste estudo foram superiores aos observados, para este mesmo experimento, por Gomes (2006) ($\sim 83,40 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$) e Zanatta (2009) ($\sim 514,60 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$), bem como no Japão ($\sim 567,02 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$) (Toma & Hatano, 2007), EUA ($\sim 197,08 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$) (Ussiri et al., 2009) e Reino Unido ($\sim 52,10 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$) (Pappa et al., 2011). Porém foram próximos àqueles reportados para sistemas de manejo no Brasil ($\sim 670 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$) (Giacomini et al., 2006; Piccolo et al., 2007; Escobar et al., 2010).

Durante o período avaliado (381 dias), as maiores emissões de N_2O do solo foram posteriores a eventos de chuva (Figura 20a). A maior umidade no solo provavelmente favoreceu a atividade microbiana, principalmente de bactérias desnitrificadoras que atuam como produtoras de N_2O (Baggs, 2003; Gomes et al., 2009; Zanatta, 2009). A relação positiva entre as emissões de N_2O e o volume de chuva acumulado dos três dias anteriores à avaliação dos gases na safra ($p < 0,0001$; $r^2 = 0,20$; $n = 135$) reforça o provável predomínio do processo de desnitrificação sobre o de nitrificação de N_2O (Baggs et al., 2006; Almaraz et al., 2009; Hernandez-Ramirez et al., 2009).

O sistema A/M apresentou baixas emissões de N_2O ao longo do período avaliado (Figura 20a) quando comparadas aos outros sistemas com leguminosas. Isto pode ter decorrido devido ao tipo de resíduo com alta relação C/N, determinando, entre outros fatores, da menor disponibilidade de N mineral no solo. O potencial de emissão de N_2O pelo solo é portanto menor, já que a qualidade do resíduo está relacionada à velocidade de decomposição do

mesmo e à mineralização do N (Gomes et al., 2009). Pappa et al. (2011) mostraram que as grandes diferenças nas emissões de N_2O resultaram de tratamentos que usaram como consórcio a leguminosa (Pea cv. Nitouche), sendo as emissões mais expressivas durante a primavera e o verão, períodos que estão associados à desnitrificação devido a maior temperatura, umidade e fornecimento de N pela FBN realizada pelas leguminosas. Estudos têm mostrado que a fixação de N pelas leguminosas pode variar entre 11 e 373 kg N $ha^{-1} ano^{-1}$ sob diferentes condições meteorológicas no mundo todo (Yang et al., 2010; Hauggaard-Nielsen et al., 2010; Pappa, 2011).

O sistema LL+M apresentou tendência a menor taxa de emissão de N_2O entre os tratamentos que incluem leguminosas. A emissão máxima neste sistema ($227 \pm 35 \mu g N-N_2O m^{-2} h^{-1}$) ocorreu 29 dias antes da semeadura do milho. Fator que pode ter influenciado a emissão de N_2O é o manejo diferenciado do LL em relação às outras culturas, principalmente quanto à época de manejo com rolagem e, conseqüentemente, o aporte de resíduo ao solo ocorrido em épocas diferentes. Enquanto que no sistema A+V/M+C, o milho e o caupi foram rolados em maio, antecedendo a semeadura das espécies de inverno, o LL permaneceu nas parcelas. Esta espécie entra em senescência foliar no período do inverno, e parte da adição e mineralização do N, principalmente proveniente das folhas, provavelmente ocorreu em período anterior ao seu manejo que só foi realizado antecedendo a semeadura do milho em novembro, 81 dias após o manejo das culturas de cobertura de inverno em virtude das constantes chuvas que seguiu no período referente à 2009/10 (Figura 19). Na semeadura no milho, as folhas do LL que senesceram no período de inverno encontravam-se em avançado estágio de decomposição.

O sistema A+V/M+C após o período pós-manejo registrou pico de emissão de N_2O no dia 255 ($199,04 \pm 83,67 \mu g N-N_2O m^{-2} h^{-1}$) depois de realizada a colheita do milho (dia 216) e o manejo com rolo faca (Figura 20a). Isto ocorreu devido à decomposição do resíduo aportado pelo caupi, com baixa relação C/N e rico em C lábil. Os resíduos de leguminosas mesmo quando deixados na superfície apresentam rápida decomposição, sendo a taxa de decomposição regulada em maior grau pelas condições de umidade e temperatura do que pela incorporação dos resíduos ao solo (Aita & Giacomini, 2007).

Este estudo demonstrou que as diferenças entre os tratamentos em relação às emissões de N_2O foram devido ao aporte dos resíduos das leguminosas de inverno e de verão (ervilhaca e caupi), o qual se traduziu em maiores emissões observadas durante a primavera/2009 e outono/2010. A alta atividade das bactérias desnitrificadoras foi devido à maior precipitação, a temperatura e a decomposição dos resíduos de leguminosas (Baggs et al., 2000; Skiba et al., 1993, 2006; Jones et al., 2007; Pappa, 2011).

As expressivas emissões de N_2O do solo registradas nos sistemas de culturas neste experimento de longa duração, concordam com resultados anteriormente reportados por outros autores (Liu et al., 2007; Oorts et al., 2007), e estão relacionados à melhoria da qualidade do solo, ao maior potencial de produção de biomassa e, principalmente, ao N dos resíduos das culturas de cobertura em sistemas conservacionistas em relação a sistemas convencionais (Yamulki & Jarvis, 2002; Amado et al., 2007, Chapuis-Lardy et al., 2007; Oorts et al., 2007). Porém a utilização de leguminosas em sistemas de produção agrícola integrado ao PD contribui para o aumento dos estoques de N no solo (Poudel et al., 2001; Diekow et al., 2005; Gomes et al., 2009) como resultado da maior entrada de N pela FBN por leguminosas somada à menor taxa de mineralização em sistema PD (Bayer & Mielniczuk, 1997; Lovato et al., 2004; Weber & Mielniczuk, 2009). Isto pode recuperar a capacidade de fornecimento de N pelo solo às culturas em sucessão (Aita & Giacomini, 2007; Weber & Mielniczuk, 2009).

Reay et al. (2009), em experimento de longa duração, ressaltaram a importância de se estudar e diferenciar quanto de N_2O se transforma e se emite para a atmosfera e quanto N mineral é lixiviado devido a processos associados com a decomposição de resíduos das leguminosas que retornam ao solo. Pappa et al., (2011) reportou perdas de N_2O observadas após o consórcio com a leguminosas (cevada/trevo). As quantidades lixiviadas foram pequenas (entre 1 e 5%) em relação às emissões de N_2O do solo, e isso é consistente com evidências recentes que sugerem que as perdas de N mineral na água de drenagem são pequenas em relação às emissões diretas (Reay et al., 2009). No entanto, existem poucos estudos que documentem tais perdas em sistemas consorciados com leguminosas.

As emissões acumuladas de N_2O no período pós-manejo foram maiores no sistema A+V/M+C ($5,37 \pm 0,20$ kg N ha^{-1}), cerca de 76% a mais que no sistema A/M ($1,31 \pm 0,26$ kg N ha^{-1}) (Figura 19b) no entanto, depois de 381 dias, as emissões acumuladas atingiram valores superiores para este sistema, com $8,33 \pm 0,80$ kg N ha^{-1} .

A emissão média acumulada de N_2O no período pós-manejo (117 dias) representou 69% da emissão total da safra 2009/10 (381 dias) (Figura 20b). Após este período, as emissões de N_2O foram, em média, menores que $4,56 \pm 1,85$ μg N- N_2O $m^{-2} h^{-1}$ para o tratamento A/M (Figura 20a). No sistema A+V/M+C estas foram de $39,37 \pm 13,77$ μg N- N_2O $m^{-2} h^{-1}$.

No período pós-manejo 2009/10, a emissão acumulada de N_2O no sistema A+V/M+C foi maior ($p < 0,05$) quando comparada aos sistemas A/M e LL+M (Figura 20b). Possivelmente a leguminosa (LL) tem uma característica na qualidade do resíduo vegetal (estado de decomposição) que provoca a liberação gradativa de N, suprindo este nutriente ao milho (Gomes, 2006). Isto resulta numa baixa emissão de N_2O , contrastando com os resíduos vegetais da gramínea (aveia) com alta relação C/N, o que influi na taxa de decomposição.

No período anual (381 dias), houve diferença ($p < 0,05$) na emissão acumulada no sistema com gramínea (A/M) em relação aos tratamentos com leguminosas (Figura 20b), que juntamente com as altas temperaturas e precipitações freqüentes (Figura 19), favoreceram as condições para as maiores emissões de N_2O .

6.4.3 Variáveis controladoras das emissões de N_2O

O estoque de N do solo explicou 78% das variações nas emissões acumuladas de N_2O posteriores ao período pós-manejo (264 dias) (Figura 21). Estes resultados são relacionados ao efeito da inclusão de leguminosas no aumento dos teores de N total no solo associadas ao sistema PD (Amado et al, 2001; Weber & Mielniczuk, 2009) e, conseqüentemente, da disponibilidade de N do solo que por sua vez comanda as emissões de N_2O .

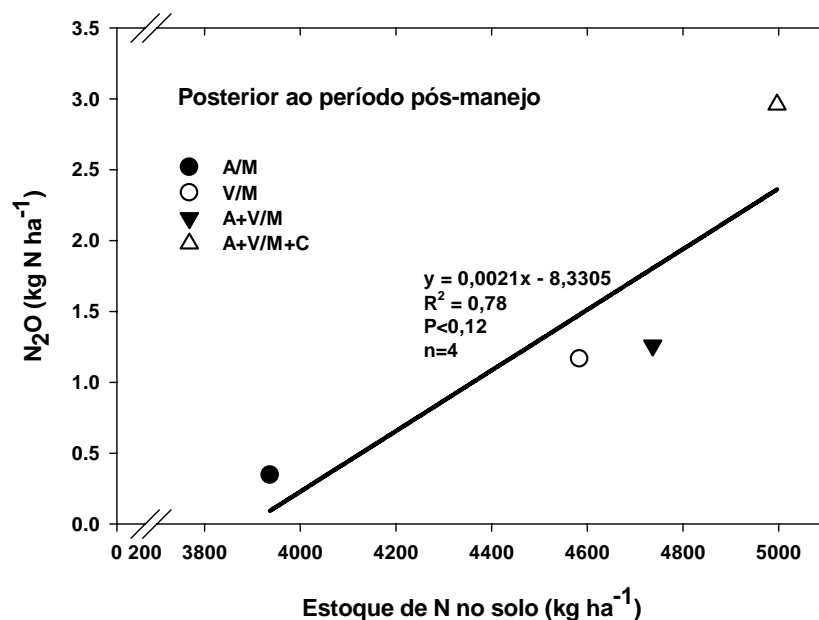


Figura 21. Relação entre a emissão acumulada de N_2O com os estoques de nitrogênio do solo pelos sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi) na safra 2009/10 em plantio direto.

A relação linear entre as emissões de N_2O com os estoques de N do solo ($p < 0,12$; $r^2 = 0,78$; $n = 4$) no período posterior ao pós-manejo sugerem que as maiores emissões nos sistemas que utilizam leguminosas (Figura 21), possivelmente estão relacionadas ao aumento na disponibilidade de N do solo (Zanatta et al., 2007). Já as menores emissões de N_2O no sistema A/M indicam baixas taxas de mineralização de N do solo (Dusenbury et al., 2008), pela adição de resíduos de alta relação C/N (Toma & Hatano, 2007).

Não foi considerado o sistema LL+M no ajuste da reta obtida (Figura 21), pela grande diferença entre os sistemas de culturas com leguminosas quanto às emissões de N_2O , a qual foi relacionada diretamente com o aporte anual de N ao solo pelas culturas, com exceção do lablab que apresentou uma emissão menor proporcionalmente às demais espécies frente à alta quantidade de N

que é adicionada ao solo. Como discutido no Estudo I, o lablab com alto teor de N pode ter apresentado uma baixa taxa de decomposição dos resíduos e diminuir a mineralização de N e posterior produção de N_2O .

No período pós-manejo da safra 2009/10, não foi observada nos sistemas de culturas relação positiva entre a emissão de N_2O com a temperatura e a concentração de NO_3^- no solo, o que também foi verificado por Yamulki & Jarvis (2002). Verificaram-se valores expressivos de emissão de N_2O no solo quando a PPA estava superior a 60%, o que sugere a contribuição do processo de desnitrificação na produção de N_2O para este período (Vinten et al., 2002; Baggs et al., 2003; Liu et al., 2007; Gomes et al., 2009), principalmente durante chuvas freqüentes e intensas (Jantalia et al., 2006) devido ao consumo de O_2 o que favorece o aumento da atividade microbiana anaeróbica (Baggs et al., 2006). Este fato justifica os resultados obtidos neste estudo e reportado por Gomes (2006) para o mesmo experimento, sendo que as maiores emissões de N_2O quando a PPA acima de 60%, independente do N mineral disponível no solo (Figura 22).

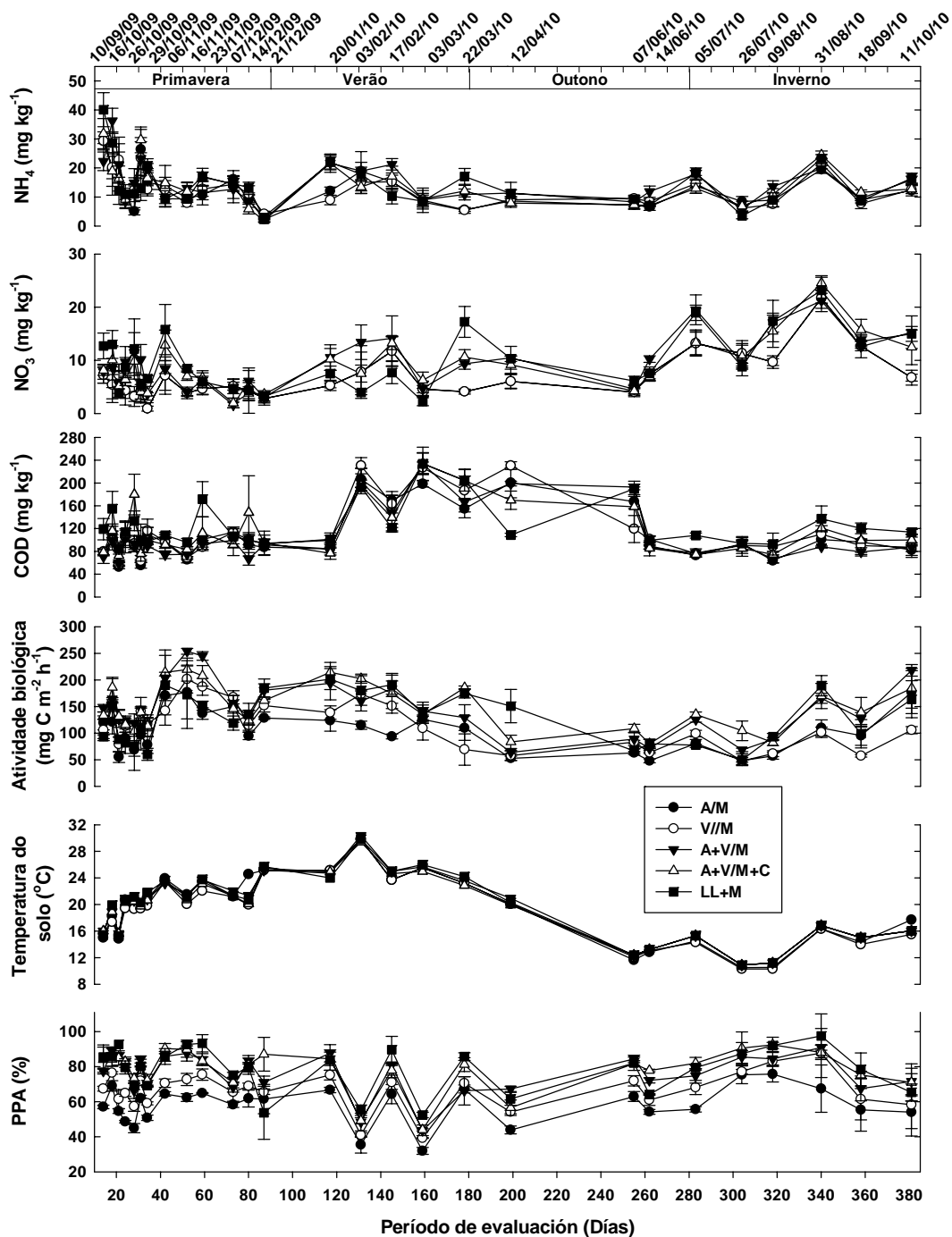


Figura 22. PPA, temperatura do solo, atividade biológica, teores de NO_3^- e NH_4^+ de um Argissolo Vermelho na safra 2009/10 (381 dias) em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V//M: Ervilhaca/M, A+V/M, A+V/M+Caupi, LL+M: Lablab+M) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Por outro lado, no período anual (381 dias), foi obtida relação positiva ($p < 0,05$; $r^2 = 0,15$; $n = 135$;) entre as emissões de N_2O no solo com a concentração de NH_4^+ . Provavelmente a disponibilização deste nutriente favoreceu o processo de nitrificação (Rochette et al., 2008).

Nos sistemas de culturas verificou-se uma relação exponencial entre a emissão de N_2O do solo e os valores de PPA ($P < 0,0001$; $r^2 = 0,24$; $n = 135$). De forma semelhante, emissões se relacionam com o aumento da atividade biológica (CO_2) no solo ($P < 0,0001$; $r^2 = 0,21$; $n = 135$) (Figura 23a e 23b). As maiores emissões de N_2O ocorreram em dias posteriores a eventos de chuva (Figura 19 e 20), que provavelmente favoreceram a atividade microbiana, principalmente de bactérias desnitrificantes que atuam como produtoras de N_2O no solo (Baggs, 2003; Gomes, 2006).

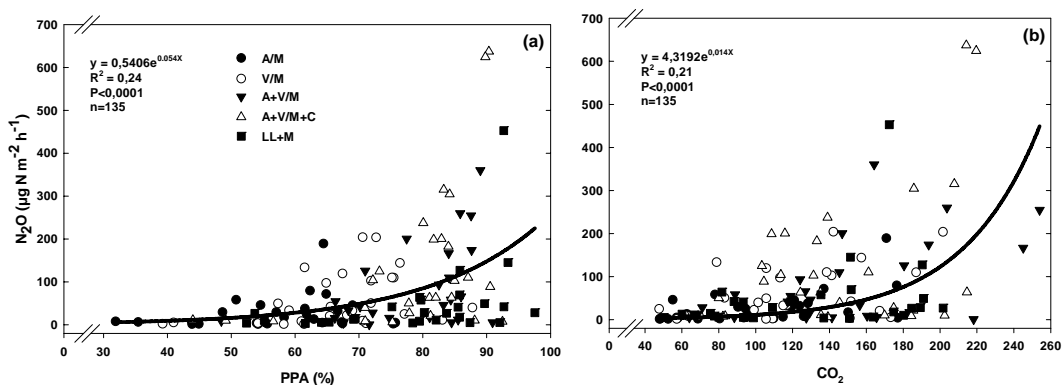


Figura 23. Relação entre a emissão diária de N_2O ($\mu g m^{-2} h^{-1}$) com a porosidade preenchida por água (PPA) **(a)** e atividade biológica (CO_2) **(b)** na safra 2009/10 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto.

6.4.4 Análise multivariada das variáveis controladoras das emissões de N₂O

O método das coordenadas principais foi utilizado para auxiliar na identificação de variáveis controladoras da emissão de N₂O na safra 2009/10 (Figura 24).

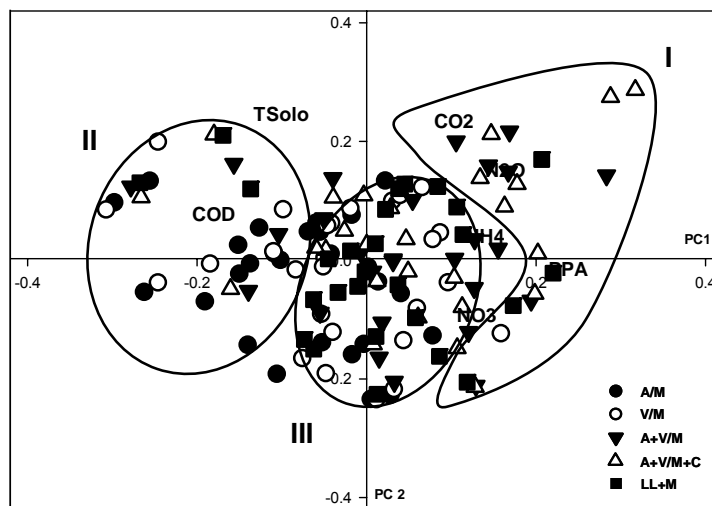


Figura 24. Diagrama de dispersão das variáveis avaliadas e os sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/M, A+V/M, A+V/M+Caupi, LL+M: Lablab+M) na safra 2009/10 (381 dias). Os grupos formados pela similaridade entre sistemas de manejo estão indicados como I, II e III.

Os eixos 1 e 2 explicaram, respectivamente, 33% e 27% da variabilidade dos dados (Tabela 4). A variável que apresentou maior coeficiente de correlação com o eixo 1 foi a PPA. O eixo 2 apresentou correlação com o CO₂ e a temperatura do solo (Tabela 4).

A análise de agrupamento separou os tratamentos em três grupos principais (Figura 24). As observações do grupo I caracterizaram-se por apresentar nos sistemas de culturas avaliados maior emissão de N₂O, maior atividade biológica (CO₂), PPA e teores de N mineral, sugerindo que nas observações deste grupo, todas de sistemas que incluem leguminosas, a

produção de N_2O foi oriunda dos processos de nitrificação e desnitrificação. O grupo II caracterizou observações dos sistemas de culturas com menores emissões de N_2O e as altas concentrações de COD e baixa temperatura do solo e o grupo III estiveram associadas às emissões com maiores concentrações NH_4^+ e NO_3^- .

Tabela 4. Coeficientes de correlação entre as variáveis avaliadas em um Argissolo Vermelho na safra 2009/10 (381 dias) nos sistemas de culturas e os eixos de ordenação obtidos na análise de coordenadas principais.

Variáveis	Eixo 1	Eixo 2
Autovalores	2,11	1,88
Porcentagem	33,10	26,83
N_2O ($\mu g N m^{-2} h^{-1}$)	0,57	0,53
CO_2 ($mg C m^{-2} h^{-1}$)	0,36	0,81
NH_4^+ ($mg kg^{-1}$)	0,49	0,14
NO_3^- ($mg kg^{-1}$)	0,45	-0,33
Temp. Solo ($^{\circ}C$)	-0,35	0,86
PPA (%)	0,83	-0,05
COD ($mg kg^{-1}$)	-0,63	0,27

Destacaram-se na safra 2009/10 os sistemas de culturas que incluem as leguminosas (A+V/M, A+V/M+C e LL+M) (Figura 24) com as maiores emissões de N_2O . Estas foram mais expressivas quando o solo apresentou mais umidade (Dobbie et al., 1999; Skiba et al., 1993; Khalil & Baggs, 2005; Gomes, 2006; Guo et al., 2010), o que implica que as emissões de N_2O foram relacionadas à desnitrificação. O aumento das emissões de N_2O foi observado com PPA entre 60 e 90% (Figura 23). Como proposto por Davidson (1991), a desnitrificação pode ser o principal processo responsável pela produção de N_2O . Bateman & Baggs (2005) e Ruser et al. (2006) também relataram

comportamentos semelhantes entre a PPA para produzir um aumento nas emissões de N_2O do solo.

A alta emissão de N_2O no período pós-manejo dos sistemas de culturas sugere o potencial dos resíduos vegetais ricos em N no fornecimento deste elemento ao solo (Baggs et al., 2006). Uma vez que as culturas de coberturas são manejadas, os compostos nitrogenados dos resíduos são suscetíveis à decomposição e mineralização para NH_4^+ que pode ser nitrificado, resultando no aumento das emissões de N_2O do solo (Rochette et al., 2004; Snyder et al., 2009).

6.4.5 Emissões de CH_4 do solo

Para o período pós-manejo (117 dias) se observou a maior variação de emissão de CH_4 , com os valores mais extremos apresentados nos tratamentos V/M, LL+M e A/M (Figura 25a). As maiores emissões de CH_4 foram observadas na época com maior precipitação pluviométrica (Figura 19). É provável que esta variação esteja relacionada aos períodos secos e chuvosos durante a safra.

No período pós-manejo, a absorção média diária de CH_4 foi de $-9,74 \pm 11,15 \mu\text{g C-CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, ou seja, representou 81% da oxidação de CH_4 durante a safra 2009/10 (Figura 25a), a qual foi de $-12,05 \pm 7,35 \mu\text{g C-CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. O sistema V/M registrou a maior emissão ($25,87 \pm 6,49 \mu\text{g C-CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) de todos os tratamentos avaliados no período total, em contraste ao sistema A/M ($-32,87 \pm 2,70 \mu\text{g C-CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) com a mais alta absorção (Figura 25a) durante a safra 2009/10.

Na safra 2009/10, independente do sistema de cultura utilizado, o solo apresentou uma tendência em absorver CH_4 , com valores de $-12,05 \pm 7,35 \mu\text{g C-CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Figura 25a).

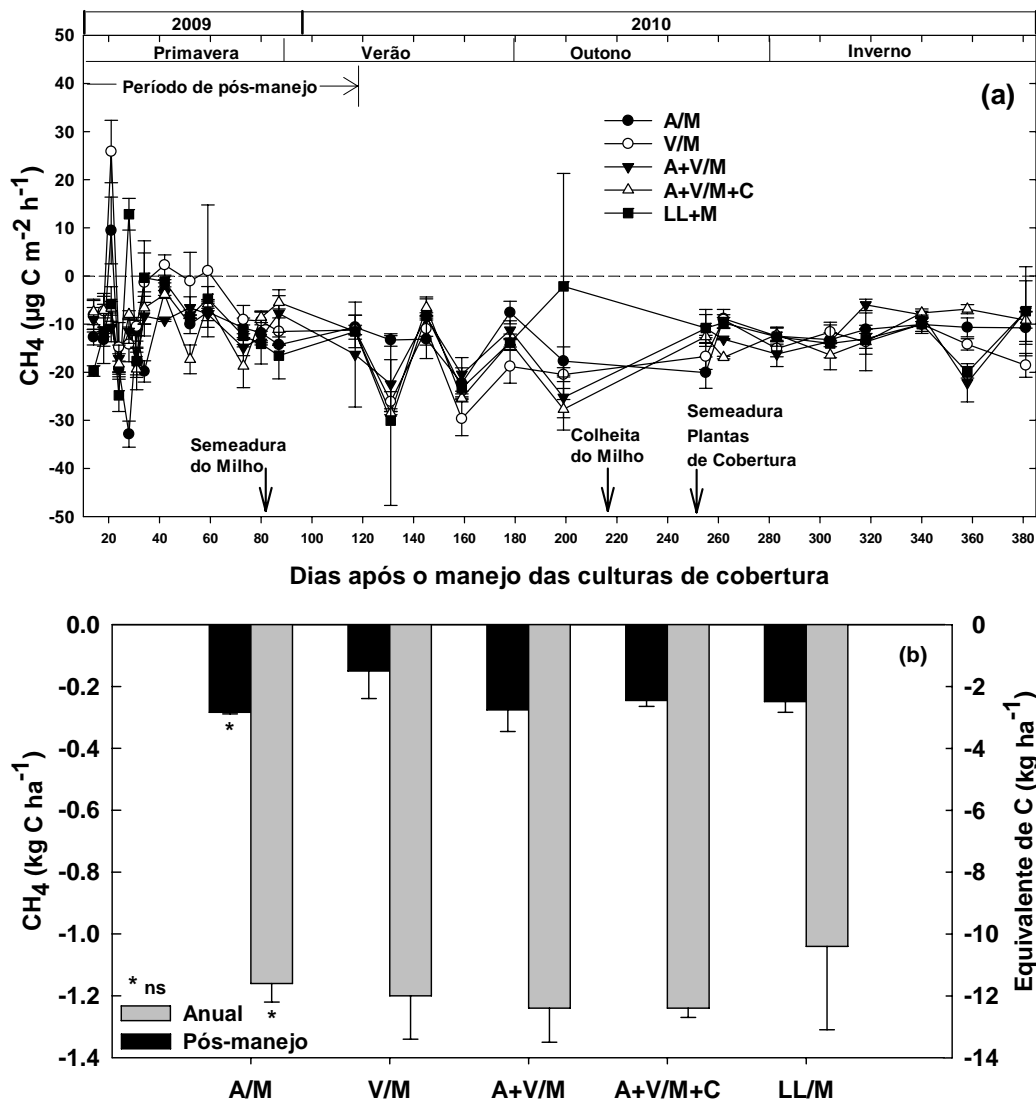


Figura 25. Emissões diárias de CH₄ (µg m⁻² h⁻¹) (a) e acumuladas (b) de um Argissolo Vermelho na safra 2009/10 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da media. ns= não significativo (p<0,05).

O pico observado de emissão de CH₄ no sistema V/M (25,87±6,49 µg C-CH₄ m⁻² h⁻¹) esteve relacionado com a alta concentração de NH₄⁺ (22,8±7,83 mg N kg⁻¹) no solo (Figura 22 e 25a), resultado que concorda com trabalhos que associam a alta concentração de íons de NH₄⁺ com a diminuição do consumo de CH₄ no solo (Oorts et al., 2007). A alta concentração de NH₄⁺ no solo inibe a oxidação do CH₄ devido à competição deste íon com o CH₄ pela enzima monooxygenase, responsável pelo processo de oxidação (Dunfield et al., 1995; Hüstch, 1998; Boderlier & Laanbroek, 2004; Reay et al., 2004).

O potencial de absorção de CH₄ nos sistemas de culturas avaliados em PD (Figura 25) possivelmente deveu-se ao acúmulo de matéria orgânica proveniente do não revolvimento do solo, proporcionando condições físicas mais adequadas para a difusão do CH₄ e O₂ no solo, assim com o alto teor de MO na superfície (Hüstch et al., 1998). Isto beneficia o desenvolvimento da população metanotrófica. Já para o período anual, a absorção acumulada de CH₄ aumentou expressivamente (81%), confirmando o que foi discutido anteriormente (Figura 25b).

Em alguns períodos, o solo foi mitigador e em outros foi emissor de CH₄, o qual está relacionado com a atividade biológica e com o conteúdo de água no solo (Figura 22). O solo em condições anaeróbicas produz CH₄ pelo processo de metanogênese, ocasionado pelas bactérias no solo, outra fonte importante de emissão de CH₄ é a mesofauna do solo, as quais, em seu processo digestivo, também produzem CH₄ (Zimmerman, 1987).

No período pós-manejo da safra 2009/10 a emissão acumulada de CH₄ nos sistemas de culturas não apresentou diferenças (p<0,05) entre eles durante o período de avaliação (Figura 25b). No entanto, no período anual (381 dias) as emissões acumuladas apresentaram diferenças (p<0,05) em relação ao pós-manejo. Já que as condições climáticas (Figura 19) influenciaram na expressiva emissão de CH₄ durante o período pós-manejo. Apesar de não ter sido verificada relação entre as emissões de CH₄ e o volume de chuva acumulado dos três dias anteriores à avaliação dos gases na safra (p<0,040; r²=0,03; n=135), reforça o provável predomínio de bactérias metanotróficas no solo que favorecem a oxidação de CH₄ (Hüstch, 1998).

No período posterior ao pós-manejo, a oxidação de CH₄ esteve relacionada negativamente com a PPA (p<0,0001; r²=0,30; n=65),

possivelmente, pelas condições anaeróbicas no solo que favorecem a metanogênese (Stams & Plugge, 2010).

6.4.6 Potencial de aquecimento global

A taxa média anual de retenção de C-CO₂ no solo variou de emissão líquida para a atmosfera de 45,06±33,07 kg ha⁻¹ ano⁻¹ a retenção líquida de -1047,22±144,73 kg ha⁻¹ ano⁻¹ no solo (Figura 26).

A taxa de retenção de C-CO₂ no solo nos sistemas de culturas que utilizaram leguminosas (ervilhaca e lablab) como cobertura, representaram fonte importante de mitigação do aquecimento global (Figura 26). No entanto, as altas emissões de N₂O e os baixos valores de CH₄ absorvido pelo solo (Figuras 20b e 25b), registrados durante a safra, fizeram que os sistemas de culturas avaliados atuassem como fonte de GEE para a atmosfera, como evidenciados pelo PAG positivo, com exceção do sistema LL+M (Figura 27). Faz-se necessário incluir estratégias de manejo para mitigação das emissões de N₂O (Robertson et al, 2000; Elder & Lal, 2008).

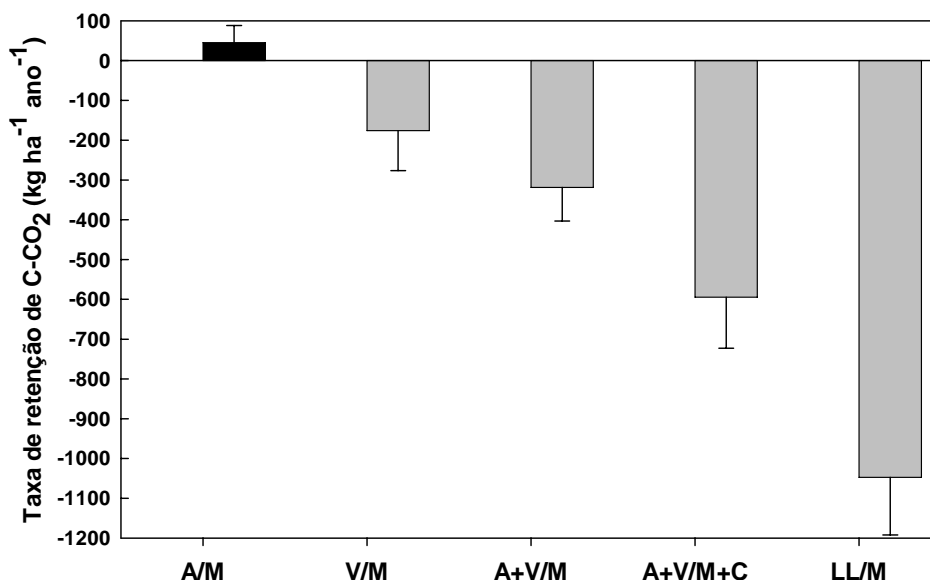


Figura 26. Taxas de retenção de Carbono de um Argissolo Vermelho em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

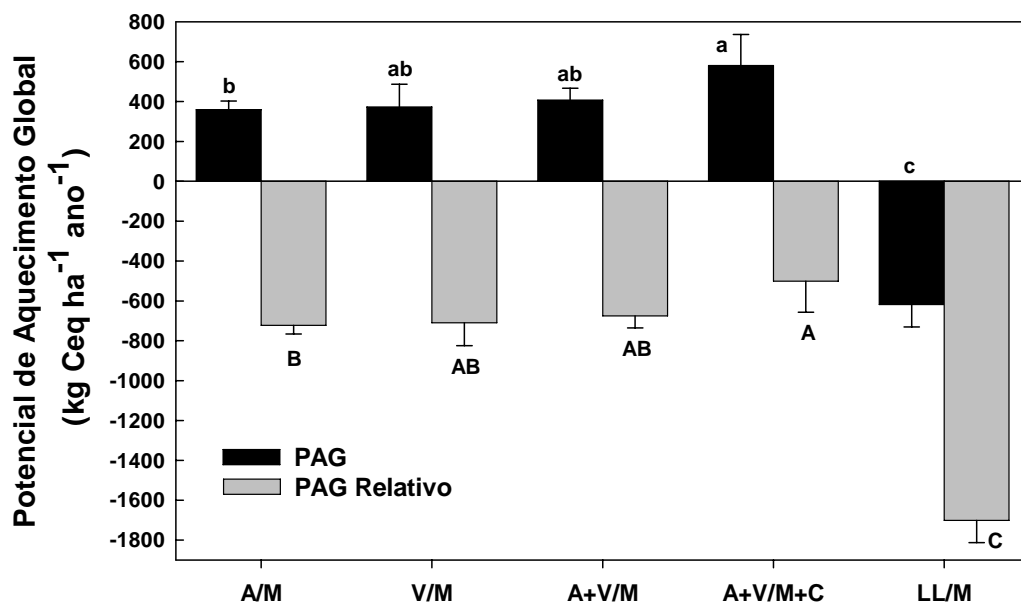


Figura 27. PAG total e PAG relativo em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto. Média seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste DMS a 5%. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

O tratamento LL+M ($-618,24 \pm 112,11$ kg CE ha⁻¹ ano⁻¹) apresentou PAG negativo sendo diferente ($p < 0,05$) em relação com o sistema A+V/M+C ($+581,06 \pm 155,29$ kg CE ha⁻¹ ano⁻¹) (Figura 27), com o maior impacto ambiental relacionado ao forçamento radiativo. Gomes (2006) reportou neste experimento valores de PAG negativos (-26 a -517 kg CE ha⁻¹ ano⁻¹), sendo de -88 kg CE ha⁻¹ ano⁻¹ para o sistema A+V/M+C.

A diferença nos valores de PAG foi determinada, pelas condições meteorológicas (freqüentes chuvas) no período pós-manejo 2009/10 em comparação ao estudo da safra avaliada por Gomes (2006), condição que influenciou na prática atípica de manejo do solo realizada, onde a semeadura do milho foi 81 dias após o manejo das plantas de coberturas de inverno. Conseqüentemente, as emissões de N₂O foram maiores, diferente ao observado no período pós-manejo 2010/11 (Estudo I), onde a semeadura foi

logo aos seis dias, por conseguinte, mitigou as emissões de N_2O , que por sua vez, é de se esperar que o valor do PAG diminua.

O PAG relativo variou de $-501,22 \pm 155,29$ kg Ceq ha^{-1} ano $^{-1}$ (A+V/M+C) a $-1700,41 \pm 112,12$ kg Ceq ha^{-1} ano $^{-1}$ (LL/M) (Figura 27), valores superiores aos encontrados por Gomes (2006) para este mesmo experimento. Os resultados indicaram que o uso agrícola do solo sob sistemas conservacionistas, além da produção de alimentos, teve um impacto positivo na mitigação do forçamento radiativo da atmosfera em comparação ao sistema tradicional utilizado (PC A/M) na região.

O PAG relativo no sistema LL/M foi negativo decorrente do seu efeito no acúmulo de C no solo, o qual mostrou uma taxa de retenção de C- CO_2 de $-1047,22 \pm 144,73$ kg C ha^{-1} ano $^{-1}$ (Figura 26), calculado em comparação ao estoque inicial de COS. Apesar da leguminosa aumentar a emissão de N_2O (Figura 20), esse efeito foi compensado pela taxa de acúmulo de COS em PD. Já a contribuição do CH_4 nos valores de PAG foi inferior a -10 kg CE ha^{-1} ano $^{-1}$ (Figura 28).

O tratamento A/M contribuiu como fonte de PAG positivo (Figura 27) por ser um sistema com baixa adição de resíduos, o que ocasionou diminuição nos estoques de C no solo neste sistema (Mosier et al., 2006).

Por outro lado se comparamos o PAG positivo do sistema PD A/M ($359,48$ kg Ceq ha^{-1} ano $^{-1}$) obtido neste estudo com o PAG do PC A/M ($1082,17$ kg Ceq ha^{-1} ano $^{-1}$) (Escobar, 2011), tratamento tradicional na região, ambos sistemas com baixo aporte de resíduo pela gramínea, dá para salientar no sistema PD a sua maior capacidade em acumular C no solo promove aos sistemas agrícolas a mitigadores do aquecimento global (Gomes 2006).

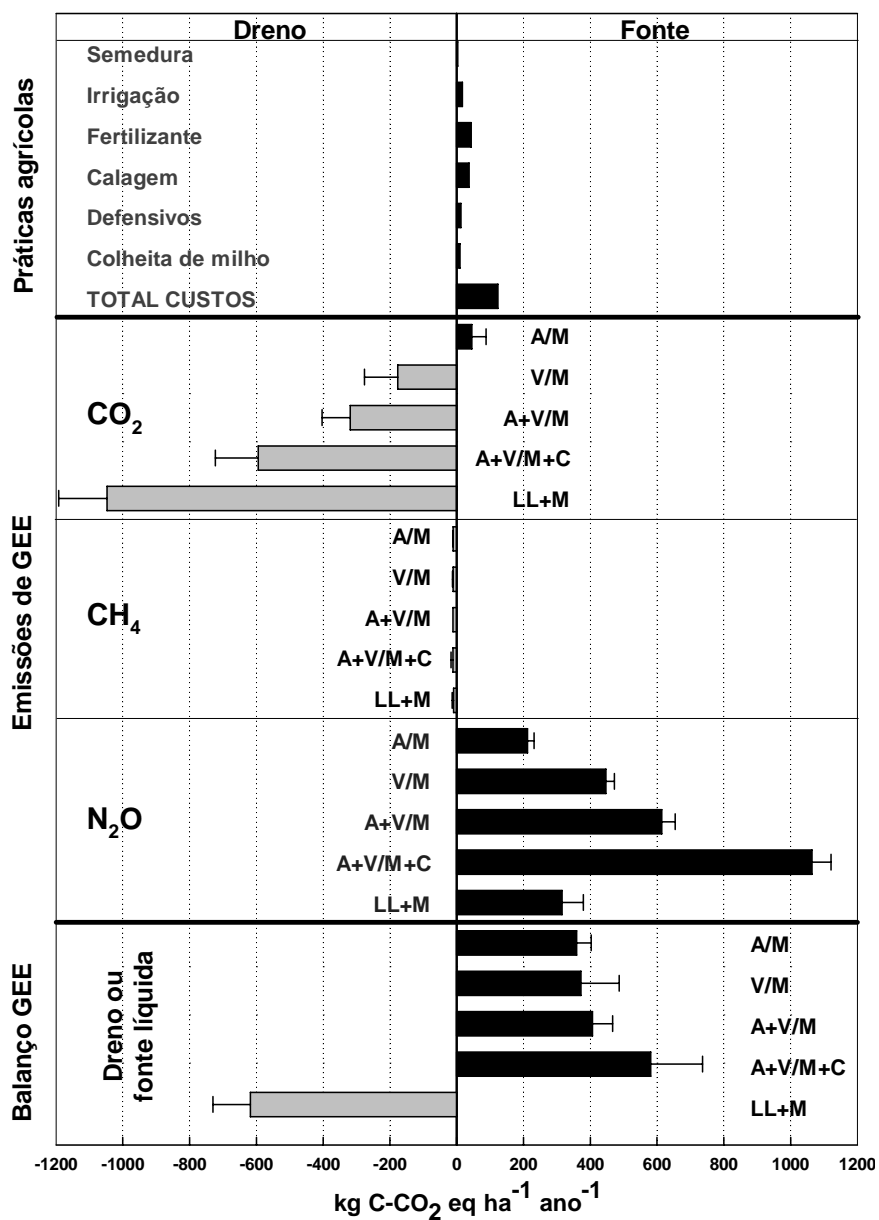


Figura 28. Balanço de gases de efeito estufa em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M: Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto na safra agrícola 2009/10.

6.4.7 Intensidade das emissões de gases de efeito estufa

A intensidade das emissões de gases de efeito estufa (IGEE) dos sistemas de manejo permite avaliar o potencial de produzir grãos com o mínimo impacto ambiental relativo ($IGEE = PAG \text{ total} / \text{Rendimento grãos}$) (Robertson & Grace, 2004; Mosier et al., 2006).

Para o cálculo do IGEE (Tabela 5) utilizou-se a média do rendimento de grãos do milho obtidos ao longo de 26 anos do experimento (Lovato, 2004; Weber, 2010). Conforme citado por Gomes (2006), a sustentabilidade dos sistemas de manejo aumenta com a redução dos valores do PAG, sendo que sistemas de manejo com IGEE positivo não são sustentáveis.

Tabela 5. Rendimento de grãos de milho durante 26 safras, potencial de aquecimento global (PAG) e intensidade das emissões de gases de efeito estufa (IGEE) em sistemas de manejo de culturas (Aveia-A/Milho-M, Ervilhaca-V/M, A+V/M, A+V/M+Caupi-C e LabLab-LL+M)

Sistema de Cultura	Rendimento (Mg ha ⁻¹)	PAG (Kg CE ha ⁻¹ ano ⁻¹)	IGEE
A/M	2,10	359,48	+171
V/M	4,12	372,50	+90
A+V/M	3,89	406,90	+105
A+V/M+C	4,55	581,06	+128
LL+M	4,82	-618,24	-128

Os valores de IGEE para os diferentes sistemas de manejo variou entre -128 e +171 kg CE t⁻¹ grãos (Tabela 5). O menor valor (mais negativo) verificado no tratamento LL+M significa que neste sistema de manejo houve uma mitigação de -618,24 kg CE ha⁻¹ ano⁻¹, o que equivale a uma mitigação de -128 kg CE t⁻¹ grãos produzidos. Em especial, destaca-se o sistema A+V/M+C que apresentou o maior valor (581,06 kg CE ha⁻¹ ano⁻¹).

Os sistemas de culturas avaliados em PD apresentaram IGEE positivo, indicando que são sistemas com baixa sustentabilidade nas condições meteorológicas diferenciadas nas quais o estudo foi realizado. O sistema

A+V/M+C apresentou um IGEE de +128 (Tabela 5), contrastando com os resultados obtidos por Gomes (2006), onde o IGEE foi de -20, sendo este considerado muito bom.

A análise da sustentabilidade dos sistemas de manejo pela razão entre o PAG e o rendimento de grãos indicou que, mesmo nas condições de ambiente subtropical no qual se desenvolveu esse estudo, sistemas de manejo que envolvem o uso do PD e de leguminosas tornam possível produzir alimentos sem que haja contribuição da atividade agrícola ao aquecimento global.

6.5 Conclusões

A dinâmica na emissão de óxido nitroso em sistemas de culturas está relacionada com a porosidade preenchida por água, indicando que o principal processo envolvido na produção deste gás no solo foi a desnitrificação.

O uso de leguminosas como planta de cobertura promoveu aumento na emissão de óxido nitroso do solo em comparação a sistema exclusivamente com gramínea, o que fez com que o potencial de aquecimento global fosse maior.

As altas emissões de óxido nitroso do solo nos sistemas de culturas devido ao excesso de chuva se refletiram nos valores de potencial de aquecimento global positivo (emissão líquida de GEE para atmosfera).

A taxa de retenção de carbono no solo no sistema de cultura com lablab em plantio direto contrabalançou as emissões de óxido nitroso registradas.

O análise da intensidade das emissões de gases de efeito estufa dos sistemas de manejo indicou que, mesmo nas condições meteorológicas no qual se desenvolveu esse estudo, sistemas de manejo que envolvem o uso do plantio direto e de leguminosas tornam possível produzir alimentos sem que haja contribuição ao aquecimento global, em comparação a sistemas tradicionais de manejo com preparo convencional e sistema com baixo aporte de resíduos vegetais (aveia/milho).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o avanço do entendimento das emissões de GEE do solo sob diferentes sistemas de culturas, visando definir estratégias de mitigação em sistemas agrícolas regionais, sugerem-se os seguintes estudos:

- Continuar as avaliações das emissões de GEE em base anual para que seja possível identificar fatores determinantes das emissões, comparando anos com diferente influencia de condições climáticas. Por outro lado, avaliações em diferentes locais do Rio Grande do Sul servirão de apoio para realizar um inventário local de emissões.
- Quantificar as adições de massa seca por leguminosas de ciclo estival, especificamente o lablab, utilizando método que considere a quantidade de fitomassa cumulativa ao longo da estação de crescimento.
- Avaliar os efeitos da qualidade de resíduos vegetais de lablab adicionados ao solo em PD, considerando o aproveitamento de N, e diminuição de perdas para o ambiente.
- Avaliar as possíveis perdas de N durante a decomposição das plantas de cobertura, principalmente por desnitrificação e lixiviação.
- Testar modelos de simulação de produção de GEE do solo utilizando os dados obtidos nos estudos já realizados neste experimento de longa duração.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para cultura em sucessão. In: ATUALIZAÇÃO em recomendação de adubação e calagem. ênfase em plantio direto. Santa Maria: Núcleo regional Sul-RBCS,1997. p.76-109.

AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; DA ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.157-165, 2001.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J., Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas e de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.601-612, 2003.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; STIPP E ABDALLA, S.R.; VITTI, G.C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba, SP: International Plant Nutrition Institute (INPI), 2007. cap.1, p.1-41

ALMARAZ, J.J.; XIAOMIN, Z.; MABOOD, F.; MADRAMOOTOO, C.; ROCHETTE, P.; MA, B.; SMITH, D. Greenhouse gas fluxes associated with soybean production under two tillage systems in southwestern Quebec. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.104, n.1, p.134-139, 2009.

AMADO, T.J.C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. 1997. 201 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDEZ, S.B.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.679-686, 1999.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.189-197, 2001.

AMADO, T.J.C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. Qualidade do solo avaliada pelo "Soil Quality Kit Test" em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.1, p.109-121, 2007.

AULAKH, M. S.; DORAN, J. W.; WALTERS, D. T.; MOSIER, A. R.; FRANCIS, D. D. Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.55, n.4, p.1020-1025, 1991.

AULAKH, M.S.; KHERA, T.S.; DORAN, J.W.; BRONSON, K.F. Denitrification, N₂O and CO₂ fluxes in rice-wheat cropping system as affected by crop residues, fertilizer N and legume green manure. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.34, n.6, p.375-389, 2001.

BAGGS, E.M., REES, R.M., SMITH, K.A., VINTEN, A.J.A. Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues. **Soil Use and Management**, Oxford, v.16, n.2, p.82-87, 2000.

BAGGS, E. M.; STEVENSON, M.; PIHLATIC, A.; REGAR, A.; COOK, H.; CADISCH, G., Nitrogen oxide emissions following application of residues and fertilizer under zero and conventional tillage. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.254, n.2, p.361-370, 2003.

BAGGS, E.M.; CHEBII, J.; NDUFA, J.K. A short-term investigation of trace gas emissions following tillage and no-tillage of agroforestry residues in western Kenya. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.90, n.1-2, p.69-76, 2006.

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 and CO₂ e CH₄ fluxes in relation to tillage compaction and soil quality in Scotland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.53, n.1, p.29-39, 1999.

BATEMAN, E. J.; BAGGS, E. M. Contributions of nitrification and denitrification to N₂O emissions from soils at different water-filled pore space. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.41, n.6, p.379-388, 2005.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.2, p.235-239, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S.V. 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.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on longterm experiments. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.91, n.1-2, p.217-226, 2006.

BEDOUSSAC, L.; JUSTES, E. Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat-winter pea intercrop. **Plant and Soil**, Heidelberg, v.330, n.1-2, p.37-54, 2010.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R.; CARDOSO, L.S.; SILVA, M.I.G. **Clima da estação experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 77p.

BERTOL, I.; CIPRANDI, O.; KURTZ, C.; BAPTISTA, A.S. Persistência dos resíduos de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n.4, p.705-712, 1998.

BODERLIER, P.L.E.; LAANBROEK, H. J. Nitrogen as regulatory factor of methane oxidation in soils and sediments. **FEMS Microbiology Ecology**, Oxford, v.47, n.3, p. 265-277, 2004.

BOECKX, P.; VAN CLEEMPUT; VILLARALVO, I. Methane oxidation in soils with different textures and land use. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v.49, n.1-3, p.91-95, 1997.

BOUWMAN, A. F. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v.46, n.1, p.53-70, 1996.

BRONSON, K.F.; MOSIER, A.R. Suppression of methane oxidation in aerobic soil by nitrification inhibitors. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.17, n.4, p.263-268, 1994.

CAMPOS, B. C. **Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas**. 2006. 188 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

CHANTIGNY, M. H. Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. **Geoderma**, Amsterdam, v.113, n.3-4, p.357-380, 2003.

CHAPUIS-LARDY, L., WRAGEW, N., METAY, A., CHOTTE, J. L., BERNOUX, M. Soils, a sink for N₂O? A review. **Global Change Biology**, Oxford, v.13, p.1-17, 2007.

CHOUDHARY, M. A.; AKRAMKHANOV, A.; SAGGAR, S. Nitrous oxide emissions from a New Zealand cropped soil: tillage effects, spatial and

seasonal variability. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Oxford, v.93, n.1-3, p.33-43, 2002.

CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J. H. Tissue-to-Solvent Ratio and Other Factors Affecting Determination of Soluble Polyphenols in Tropical Leaves. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.25, n.19-20, p.3221-3227, 1994.

CONRAD, R. Control of methane production in terrestrial ecosystems. In: ANDREAE M.O.; SCHIMEL D.S. (Eds.), **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. Chichester: John Wiley & Sons., 1989. p. 39-58.

CONRAD, R. Soil microbial processes involved in production and consumption of atmospheric trace gases. **Advances in Microbial Ecology**, New York, v.14, p.207-250, 1995.

DALAL, R.C.; WEIJIN, W.; ROBERTSON, G.P.; PARTON, W.J. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.41, n.2, p.165-195, 2003.

DA ROS, C.O.; AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, n.1, p.135-140, 1996.

DAVIDSON, E.A. Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from terrestrial ecosystems. In ROGERS, J.E. et al. (Ed.) **Microbial production and consumption of greenhouse gases: methane, nitrogen oxides and halomethanes**. Washington, DC. : Am. Soc. Microbiol., 1991. p.219-235

DAVIDSON, E.A.; VERCHOT, L.V. Testing the hole in the pipe model of nitric and nitrou oxide emissions from soils using the TRAGNET database. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.14, n.4, p.1035-1043, 2000.

DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P.; KOGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.268, n.1-2, p.319-328, 2005.

DOBBIE, K.E.; MCTAGGART, I.P.; SMITH, K.A. Nitrous oxide emissions from intensive agricultural systems: variations between crops and seasons, key driving variables and mean emission factors. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.104, n.21, p.26891-26899, 1999.

DOBBIE, K.E.; SMITH, K.A. The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N₂O emissions from an imperfectly drained Gleysol. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.52, n.4, p.667-673. 2001.

DOBBIE, K. E.; SMITH, K. A. Impact of different forms of N fertilizer on N₂O emissions from intensive grassland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v.67, n.1, p.37-46, 2003.

DRURY, C.F.; MCKENNEY, D.J.; FINDLAY, W.I. Nitric oxide and nitrous oxide production from soil: Water and oxygen effects. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.56, p.766-770, 1992.

DRURY, C.F.; YANG, X.M.; REYNOLDS, W.D.; TAN, C.S. Influence of crop rotation and aggregate size on carbon dioxide production and denitrification. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.79, n.1, p.87-100, 2004.

DRURY, C.F.; REYNOLDS, W.D.; TAN, C.S.; WELACKY, T.W.; CALDER, W.; MCLAUGHLIN, N.B. Emissions of nitrous oxide and carbon dioxide: Influence of tillage type and nitrogen placement depth. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.70, n.2, p.570-581, 2006.

DRURY, C.F.; YANG, X.M.; REYNOLDS, W.D.; MCLAUGHLIN, N.B. Nitrous oxide and carbon dioxide emissions from monoculture and rotational cropping of corn, soybean and winter wheat. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.88, n.2, p.163-174, 2008.

DUNFIELD, P.; KNOLWES, R. Kinetics of inhibition of methane oxidation by nitrate, nitrite and ammonium in humisol. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.61, n.8, p.3129-3135, 1995.

DUSENBURY, M.P.; ENGEL, R.E.; MILLER, P.R.; LEMKE, R.L.; WALLANDER, R. Nitrous oxide emissions from a northern great plains soil as influenced by nitrogen management and cropping systems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.37, n.2, p.542-550, 2008.

EINCHER, M.J. Nitrous oxide emissions from fertilized soils: summary of available data. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.19, n.2, p.272-280, 1990.

ELDER, J. W.; LAL, R. Tillage effects on gaseous emissions from an intensively farmed organic soil in North Central Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.98, n.1, p.45-55, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA-CNPMA. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**: emissões de óxido nitroso proveniente de solos agrícolas. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006.

ESCOBAR, L.F.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; CHAVEZ, L.F.; ZANATTA, J.A.; FIORIN, J. Postharvest nitrous oxide emissions from a subtropical Oxisol as influenced by summer crop residues and their management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.2, p.507-516, 2010.

FAO-IFA. **Estimaciones globales de las emisiones gaseosas de NH₃, NO y N₂O provenientes de las tierras agrícolas**. Roma: FAO, 2004. 110 p.

FIRESTONE, M.K. Biological denitrification. In: STEVENSON, F.J. (Ed.) **Nitrogen in Agricultural Soils**, Madison, WI: ASA-CSSA-SSSA, 1982. p. 289-326 (Agronomy Monograph 22)

FIRESTONE, M. K.; DAVIDSON, E. A. Microbial basis of NO and N₂O production and consumption in soils. In: ANDREAE, M. O.; SCHIMMEL, D. S., (Eds.) **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. New York: John Wiley & Sons, 1989. v.1, p.7-21

GARCIA-MÉNDEZ, G.; MAASS, J.M.; MATSON, P.A.; VITOUSEK, P.M. Nitrogen transformations and nitrous oxides flux in a tropical deciduous forest in Mexico. **Oecologia**, Berlin, v.88, n.3, p.362-366, 1991.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.R.O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.S.; FRIES, M.R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.325-334, 2003.

GIACOMINI, S.J.; JANTALIA, C.P.; AITA, C.; URQUIAGA, S.S.; ALVES, B.J.R. Nitrous oxide emissions following pig slurry application in soil under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.11, p.1653-1661, 2006.

GLIMOUR, J.T.; MAUROMOUSTAKOS, A.; GALE, P.M.; NORMAN, R.J. Kinetics of crop residue decomposition: variability among crops and years. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.62, n.3, p.750-755, 1998.

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) – Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GOMES, J.; BAYER, C.; COSTA, F.; PICCOLO, M. C.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F.C.B.; SIX, J. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crop-based crop rotations under subtropical climate. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.106, n.1, p.36-44, 2009.

GRANT, B.; SMITH, W.N.; DESJARDINS, R.; LEMKE, R.; LI, C. Estimated N₂O and CO₂ emissions as influenced by agricultural practices in Canada. **Climate Change**, Heidelberg, v.65, n.3, p.315-332, 2004.

GUO, X.; DRURY, C.; YANG, X.; ZHANG, R. Influence of Constant and Fluctuating Water Contents on Nitrous Oxide Emissions from Soils under Varying Crop Rotations. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.74, n.6, p.2077-2085, 2010.

HAILE-MARIAM, S.; COLLINS, H.P.; HIGGINS, S.S. Greenhouse Gas Fluxes from an Irrigated Sweet Corn (*Zea mays* L.) - Potato (*Solanum tuberosum* L.) Rotation. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.37, n.3, p.759-771, 2008.

HAUGGAARD-NIELSEN, H.; HOLDENSEN, L.; WULFSOHN, D.; JENSEN, E.S. Spatial variation of N₂ fixation in field pea (*Pisum sativum* L.) at the field scale determined by the N-15 natural abundance method. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.327, n.1-2, p.167-184, 2010.

HEINRICH, R.; AITA, C.; AMADO, T.J.C.; FANCELLI, A.L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.331-340, 2001.

HERNANDEZ-RAMIREZ, G.; BROUDER, S.M.; SMITH, D.R.; VAN SCOYOC, G.E. Greenhouse Gas Fluxes in an Eastern Corn Belt Soil: Weather, N Source and Rotation. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.38, n.3, p.841-854, 2009.

HOUGHTON, Y.; DING, D.J.; GRIGGS, M.; NOGUER, P. J.; VAN DER LINDEN; J. T.; D. XIAOSU (Eds.). **Climate Change 2001: the scientific basis**. United King: IPCC, 2001.

HÜSTCH, B.W. Methane oxidation in arable soil as inhibited by ammonium, nitrite and organic manure with respect to soil pH. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.28, n.1, p.27-35, 1998

IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Agriculture, Forestry and Other Land Use**. Kanagawa, Japan: IGES. Vol. 4.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007: the physical science basis**. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 2007.

JANTALIA, C.P.; ZOTARELLI, L.; SANTOS, H.P.; TORRES, E.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Em busca da mitigação da produção de óxido nitroso em sistemas agrícolas: avaliação de práticas usadas na produção de grãos no Sul do País. In: ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.) **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006. cap. 4, p. 81-107.

JANTALIA, C.P.; DOS SANTOS, H.P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. 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.161-173, 2008.

JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; IZAURRALDE, R.C.; ELLERT, B.H.; JUMA, N.; MCGILL, W. B; ZENTNER, R.P. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.47, n.3-4, p.181-195, 1998.

JENKINSON, D.S.; FOX, R.H.; RAYNER, J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen - the so-called "priming effect". **Journal of Soil Science**, Oxford, v.36, n.3, p.425-444, 1985.

JONES, S.K.; REES, R.M.; SKIBA, U.M.; BALL, B.C. Influence of organic and mineral N fertilizer on N₂O fluxes from a temperate grassland. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Oxford, v.121, n.1-2, p.74-83, 2007.

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

KAISER, E.A.; KOHRS, K.; KUCKE, M. Nitrous oxide release from arable soil: important of N-fertilization, crops and temporal variation. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.30, n.12, p.1553-1563, 1998.

KESSAVALOU, A.; MOSIER, A.R.; DORAN, J.W.; DRIJBER, R.A.; LYON, D.J.; HEINEMEYER, O. 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, 1094-1104, 1998.

KHALIL, M.I.; BAGGS, E.M. CH₄ oxidation and N₂O emissions at varied soil water-filled pore spaces and headspace CH₄ concentrations. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.37, n.10, p.1785-1794, 2005.

KIRSCHBAUM, M.U.F. The temperature dependence of soil organic matter decomposition and the effect of global warming on soil organic C storage. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v.27, n.6, p.753-760, 1995.

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

LAL, R.; FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A.; KIMBLE, J.M. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. **Soil Science**, Hagerstown, 172, n.12, p.943-956, 2007.

LER MER, J.; ROGER, P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v.37, n.1, p.25-50, 2001.

LIMA, M.A., BOEIRA, R.C., CASTRO, V.L.S.S., LIGO, M.A.V., CABRAL, O.M.R., VIEIRA, R.F. Estimativa das emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil. In: MUDANÇAS climáticas globais e a agropecuária brasileira. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 169-189.

LIU, X.J.; MOSIER, A.R.; HALVORSON, A.D.; REULE, C.A.; ZHANG, F.S. Dinitrogen and N₂O emissions in arable soils: effect of tillage, N source and soil moisture. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v.39, n.9, p.2362-2370, 2007.

LLOYD, J.; TAYLOR, J.A. On the temperature dependence of soil respiration. **Functional Ecology**, United Kingdom, v.8, n.3, p.315-323, 1994.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Carbono e nitrogênio adicionados e sua relação com o rendimento do milho e estoques destes elementos no solo em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.175-187, 2004.

MACKENZIE, A.F.; FAN, M.X.; CARDIN, F. Nitrous oxide emission as affected by tillage, corn-soybean-alfalfa rotations and nitrogen fertilization. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.77, p.145-152, 1997.

MAJUMDAR, D.; MITRA, S. Methane consumption from ambient atmosphere by a Typic Ustochrept soil as influenced by urea and two nitrification inhibitors. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.39, p.140-145, 2004.

MCTAGGART, I. P.; CLAYTON, H.; PARKER, J.; SWAN, L.; SMITH, K. A. Nitrous oxide emissions from grassland and spring barley, following N fertiliser application with and without nitrification inhibitors. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.25, n.3, p.261-268, 1997.

MILLAR, N.; BAGGS, E.M. Chemical composition, or quality, of agroforestry residues influences N₂O emissions after their addition to soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v.36, n.6, p.935-943, 2004.

MOSIER, A. R.; DELGADO, J. A.; KELLER, M. Methane and nitrous oxide fluxes in an acid Oxisol in western Puerto Rico: Effects of tillage, liming and fertilization. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.30, n.14, p.2087-2098, 1998.

MOSIER, A. R. Environmental challenges associated with needed increases in global nitrogen fixation. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v.63, n.1, p.101-116, 2002.

MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT, L.; KING, J.; PALM, C. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. **Environment, Development and Sustainability**, Heidelberg, v.6, n.1-2, p.11-49, 2004.

MOSIER, A.R.; HALVORSON, A.D.; PETERSON, G.A.; ROBERTSON, G.P.; SHERROD, L. Measurement of net global warming potential in three agroecosystems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v.72, n.1, p.67-76, 2005.

MOISER, A.R.; HALVORSON, A.D.; REULE, C.A.; LIU, X.J.J. 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.

MOSQUERA, J.; HOL, J.M.G.; RAPPOLDT, C.; DOLFING, J. Precise soil management as a tool to reduce CH₄ and N₂O emissions from agricultural soils. Wageningen, 2007. 42 p. (Report 28) Disponível em: (<http://www.asg.wur.nl/NR/rdonlyres/F81D8745-6596-4296-A292-8553950E2B98/40310/28.pdf>), Acesso em: 17/03/2011.

NEILL, C.; PICCOLO, M.C.; STEUDLER, P.A.; MELILLO, J.M.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. Nitrogen dynamics in soils of forests and active pastures in the Western Brazilian Amazon Basin. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v.27, n.9, p.1167-1175, 1995.

OENEMA, D.; VELTHOF, G.L.; YAMULKI, S.; JARVIS, S.C. Nitrous oxide emissions from grazed grassland. **Soil Use and Management**, Oxford, v.13, n.4, p.288-295, 1997.

OGLESBY, K.A.; FOWNES, J.H. effects of chemical-composition on nitrogen mineralization from green manures of tropical leguminous trees. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.143, n.1, p.127-132, 1992.

OMONODE, R.A.; VYN, T.J.; SMITH, D.R.; HEGYMEGI, P.; GÁL, A. Soil carbon dioxide and methane fluxes from long-term tillage systems in continuous corn and corn-soybean rotations. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.95, n.1-2, p.182-195, 2007.

OMONODE, R.A.; SMITH, D.R.; GAL, A.; VYN, T.J. Soil Nitrous Oxide Emissions in Corn following Three Decades of Tillage and Rotation Treatments. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.75, n.1, p.152-163, 2011.

OORTS, K.; MERCKX, R.; GREHAN, E.; LABREUCHE, J.; NICOLARDOT, B. Determinants of annual fluxes of CO₂ and N₂O in long-term no-tillage and conventional tillage systems in northern France. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.95, n.1-2, p.133-148, 2007.

PAPPA, V.A.; REES, R.M.; WALKER, R.L.; BADDELEY, J.A.; WATSON, C.A. Nitrous oxide emissions and nitrate leaching in an arable rotation resulting from the presence of an intercrop. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Oxford, v.141, n.1-2, p.153-161, 2011.

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

PICCOLO, M. C.; PAVEI, M. A.; BERNOUX, M.; SA, J. C. M.; PAULETTI, V. Fluxos de óxido nitroso e decomposição de resíduos culturais no solo sob diferentes manejos agrícolas em Ponta Grossa (PR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Livro de Resumos**. Gramado, 2007. 1 CD-ROM.

PILLAR, V.D. Multivariate exploratory analysis and randomization testing with MULTIV. **Coenoses**, Gorizia, v.12, n.2-3, p.145-148, 1997.

POUDEL, D.D.; HORWATH, W.R.; MITCHELL, J.P.; TEMPLE, S.R. Impacts of cropping systems on soil nitrogen storage and loss. **Agricultural Systems**, London, v.68, n.3, p.253-268, 2001.

RADDATZ, R.L. Evidence for the influence of agriculture on weather and climate through the transformation and management of vegetation: illustrated by examples from the Canadian Prairies. **Agricultural and Forest Meteorology**, Kidlington, v.142, n.2-4, p.186-202, 2007.

REAY, D.S.; NEDWELL, D.B. Methane oxidation in temperate soils: effects of inorganic N. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v.36, n.12, p.2059-2065, 2004.

REAY, D.S.; EDWARDS, A.C.; SMITH, K.A. Importance of indirect nitrous oxide emissions at the field, farm and catchment scale. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.133, n.3-4, p.163-169, 2009.

REAY, D.; SMITH, P.; VAN AMSTEL, A. Methane sources and the global methane budget. In: REAY, D. et al. (Eds.) **Methane and climate change**. Londres: Earthscan, 2010. p.1-13.

REICOSKY, D.C.; DUGAS, W.A.; TORBERT, H.A. Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.41, n.1, p105-118, 1997.

RICE, C.W.; SMITH, M.S. Denitrification in no-till and plowed soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.46, p.1168-1173, 1982.

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.; GRACE, P.R. Greenhouse gas fluxes in tropical and temperate agriculture: the need for a full-cost accounting of global warming potentials. **Environment, Development and Sustainability**, Heidelberg, v.6, n.1-2, p.51-63, 2004.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A.; BÉLANGER, G.; CHANTIGNY, M.H.; PRÉVOST, D.; LÉVESQUE, G. Emissions of N₂O from alfalfa and soybean crops in Eastern Canada. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.68, n.2, p.493-506, 2004.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A.; CHANTIGNY, M.H.; BERTRAND, N. Nitrous oxide emissions respond differently to No-Till in a loam and a heavy clay soil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.72, n.5, p.1363-1369, 2008.

RUSER, R.; FLESSA, H.; SCHILLING, R.; BEESE, F.; MUNCH, J.C. Effect of crop-specific field management and N fertilization on N₂O emissions from a fine-loamy soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v.59, p.177-191, 2001.

RUSER, R.; FLESSA, H.; RUSSOW, R.; SCHMIDT, G.; BUEGGER, F.; MUNCH, J.C. Emission of N₂O, N₂ and CO₂ from soil fertilized with nitrate:

Effect of compaction, soil moisture and rewetting. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v.38, n.2, p.263-274, 2006.

SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FONTES, C.Z. **Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa-SPI, 1998. p.40-47.

SANGAKKARA UR, RICHNER W, SCHNEIDER MK, STAMP P. Impact of intercropping beans (*Phaseolus vulgaris*) and sunhemp (*Crotalaria juncea*) on growth, yields and nitrogen uptake of maize (*Zea mays*) grown in the humid tropics during the minor rainy season. **Maydica**, Bergamo, v.48, p.233-239, 2003.

SANTOS, H.P.; SPERA, S.T.; TOMM, G.O.; KOCHANN R.A.; ÁVILA, A. Efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.441-454, 2008.

SEHY, U.; RUSER, R.; MUNCH, J.C. Nitrous oxide fluxes from maize fields: Relationship to yield, site-specific fertilization, and soil conditions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Oxford, v.99, n.1-3, p.97-111, 2003.

SKIBA, U.; SMITH, K.A.; FOWLER, D. Nitrification and denitrification as sources of nitric oxide and nitrous oxide in a sandy loam soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v.25, n.11, p.1527-1536, 1993.

SKIBA, U.; SMITH, K. A. The control of nitrous oxide emission from agricultural and natural soils. *Chemosphere*. **Global Change Science**, v.2, p.379-386, 2000.

SKIBA, U.; DIMARCO, C.; HARGREAVES, K.; SNEATH, R.; MCCARTNEY, L. Nitrous oxide emissions from a dung heap measured by chambers and plume methods. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Oxford, v.112, n.2-3, p.135-139, 2006.

SMITH, K.A.; DOBBIE, K.E.; BALL, B.C.; BAKKEN, L.R.; SITLAULA, B.K.; HANSEN, S. 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, p.791-803, 2000.

SMITH K.A., BALL T., CONEN F., DOBBIE K.E., MASSHEDER J., REY A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **European Journal of Soil Science**, v.54, n.4, p.779-791. 2003.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; McCARL, B.; OGLE, S.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLLES, B.; SIROTENKO, O.: Agriculture. In: IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007** Cambridge: New York: Cambridge University Press, 2007. Cap.8.

SNYDER, C. S.; BRUULSEMA, T. W.; JENSEN, T. L.; FIXEN, P.E. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer

management effect. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Oxford, v.133, n.3-4, p.247-266, 2009.

STAMS, A.J.M.; PLUGGE, C.M. The microbiology of methanogenesis. In: REAY, D. et al. (Eds.) **Methane and climate change**. London: Earthscan, 2010. p.14-26.

STEUDLER, P. A. et al. The effects of natural and human disturbances on soil nitrogen dynamics and trace gas fluxes in a Puerto Rican wet forest. *Biotropica*, Washington, v. 23, p. 356-363, 1991.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**, 2 ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

THORSTED, M.D.; OLESEN, J.E.; WEINER, J. Width of clover strips and wheat rows influence grain yield in winter wheat/white clover intercropping. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.95, n.2-3, p.280-290, 2006.

TOMA, Y.; HATANO,R. Effect of crop residue C:N ratio on N₂O emissions from Gray Lowland soil in Mikasa, Hokkaido, Japan. **Soil Science and Plant Nutrition**, London, v.53, n.2, p198-205, 2007.

USSIRI, D.A.N, LAL, R., JARECKI, M.K. Nitrous oxide and methane emissions from long-term tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.104, n.2, p.247-255, 2009.

VELTHOF, G.L., P.J. KUIKMAN, AND O. OENEMA. 2002. Nitrous oxide emission from soils amended with crop residues. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v.62, p.249-261, 2002.

VENTEREA, R. T.; BURGER, M.; SPOKAS, K. A. Nitrogen oxide and methane emissions under varying tillage and fertilizer management. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.34, n.5, p.1467-1477, 2005.

VENTEREA, R.T. Nitrite-driven nitrous oxide production under aerobic soil conditions: Kinetics and biochemical controls. **Global Change Biology**, Oxford, v.13, p.1798-1809, 2007.

VIEIRA, F.C.B., C. BAYER, J.A. ZANATTA, J. DIECKOW, J. MIELNICZUK, AND Z.L. HE. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.96, p.195-204, 2007.

VIEIRA, F.C.B. et al. Long-term acidification of a Brazilian Acrisol as affected by no till cropping systems and nitrogen fertiliser. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.46, n.1, p.17-26, 2008.

VINTEN, A. J. A.; BALL, B. C.; O'SULLIVAN, M. F.; HENSHALL, J. K. The effects of cultivation method, fertilizer input and previous sward type on organic C and N storage and gaseous losses under spring and winter barley following

long-term leys. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.139. n.3, p.231-243, 2002.

WEBER, M.A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.2, p.429-437, 2009.

WEBER, M.A. **Parametrização e validação do ciclo do carbono e do nitrogênio do modelo Century 4.5 com experimentos de longa duração em um argissolo do sul do Brasil**. 2010. 169 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

YAMULKI, S.; JARVIS, S.C. Short-term effects of tillage and compaction on nitrous oxide, nitric oxide, nitrogen dioxide, methane and carbon dioxide fluxes from grassland. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.36, p.224-231, 2002.

YANG, J.Y.; DRURY, C.F.; YANG, X.M.; DEJONG, R.; HUFFMAN, E.C.; CAMPBELL, C.A.; KIRKWOOD, V. Estimating biological N₂ fixation in Canadian agricultural land using legume yields. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.137, p.192-201, 2010.

ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; VIEIRA, F.C.B.; MIELNICZUK, J. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.94, n.2, p.510-519, 2007.

ZANATTA, J.A. **Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e fontes de nitrogênio**. 2009. 93f. 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.; BAYER, C.; VIEIRA, F.C.B.; GOMES, J.; TOMAZI, M. 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.

ZIMMERMAN, P.R. Methane and other metabolic gases produced by termites. In: EDER, J. & REMBOLD, H. (Eds) **Chemistry and Biology of Social Insects**, Peperny, Munich, 1987, p.637.

9. APÊNDICES

Apêndice 9.1 Emissões de N₂O, CH₄ e CO₂ (µg m⁻² h⁻¹) no solo na safra 2009/10 e período pós-manejo 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto.

Tratamento	Dias após manejo	Data	N-N ₂ O				C-CH ₄				C-CO ₂				
			Rep. I	Rep. II	Rep. III	Média	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Média	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Média	
			ug m ⁻² hora ⁻¹				ug m ⁻² hora ⁻¹				mg m ⁻² hora ⁻¹				
A/M	Safra 2009/10														
	14	9/10/2009	28.95	50.22	8.13	29.10	-15.71	-12.32	-10.13	-12.72	129.72	93.25	135.16	119.38	
	18	13/10/2009	35.63	26.97	72.71	45.10	-15.30	-13.79	-10.78	-13.29	103.65	93.55	165.59	120.93	
	21	16/10/2009	43.07	37.58	56.37	45.67	21.64	-2.36	9.03	9.44	46.85	42.71	75.67	55.08	
	24	19/10/2009	22.03	22.98	42.26	29.09	-16.12	-20.46	-21.41	-19.33	83.46	76.00	112.18	90.55	
	28	23/10/2009	6.76	-5.91	3.73	1.53	-37.95	-28.76	-31.90	-32.87	60.13	53.69	92.28	68.70	
	31	26/10/2009	22.85	6.25	15.63	14.91	-15.64	-9.96	-8.53	-11.38	94.69	48.92	146.31	96.64	
	34	29/10/2009	161.40	3.74	9.24	58.13	-15.87	-23.49	-20.13	-19.83	56.64	67.83	109.58	78.01	
	42	6/11/2009	280.25	104.35	182.24	188.95	-2.08	-4.90	-2.49	-3.16	240.48	116.48	155.93	170.96	
	52	16/11/2009	90.89	12.77	133.49	79.05	-13.94	-8.19	-7.98	-10.03	269.33	98.81	161.70	176.62	
	59	23/11/2009	52.85	13.65	147.72	71.41	-4.33	-10.60	-7.54	-7.49	154.07	116.80	140.05	136.98	
	73	7/12/2009	10.99	26.17	13.91	17.02	-14.44	-10.50	-7.42	-10.79	171.84	150.73	127.99	150.19	
	80	14/12/2009	17.16	29.32	28.55	25.01	-13.60	-8.51	-13.37	-11.83	88.30	87.07	108.25	94.54	
	87	21/12/2009	44.75	33.61	33.89	37.42	-14.15	-14.14	-14.60	-14.30	129.67	131.58	123.90	128.38	
	117	20/1/2010	18.92	39.69	37.31	31.98	-7.07	-9.46	-15.41	-10.65	127.11	87.52	156.67	123.77	
	131	3/2/2010	4.67	9.88	4.32	6.29	-15.57	-11.07	-13.31	-13.32	104.87	129.89	109.86	114.87	
	145	17/2/2010	-3.16	12.10	4.27	4.40	-5.77	-14.16	-19.56	-13.16	99.32	84.33	97.27	93.64	
	159	3/3/2010	9.36	4.50	9.41	7.76	-20.13	-18.18	-28.48	-22.26	134.21	110.37	133.82	126.13	
	178	22/3/2010	5.26	-3.39	15.18	5.69	-7.45	-3.62	-11.75	-7.61	94.17	79.65	155.02	109.61	
	199	12/4/2010	1.11	2.17	0.24	1.17	-23.60	-14.94	-14.56	-17.70	46.16	60.11	51.36	52.54	
	255	7/6/2010	9.61	17.48	11.24	12.78	-13.89	-21.47	-24.90	-20.09	61.37	58.52	68.71	62.87	
	262	14/6/2010	0.73	1.88	0.68	1.09	-5.46	-9.02	-12.11	-8.86	45.04	43.62	55.19	47.95	
	283	5/7/2010	1.54	1.54	2.97	2.01	-10.06	-15.67	-11.76	-12.50	81.71	66.59	93.33	80.54	
	304	26/7/2010	1.54	2.89	1.00	1.81	-16.16	-12.26	-11.34	-13.25	52.14	50.24	42.79	48.39	
	318	9/8/2010	1.75	8.38	2.86	4.33	-9.95	-10.61	-12.77	-11.11	57.15	67.73	46.71	57.20	
	340	31/8/2010	3.98	-1.09	5.34	2.74	-12.94	-8.54	-8.80	-10.09	124.82	124.96	79.43	109.74	
	358	18/9/2010	9.11	3.35	3.98	5.48	-8.38	-9.08	-14.63	-10.70	111.50	115.01	58.99	95.17	
	381	11/10/2010	4.99	2.82	3.50	3.77	-10.48	-5.00	-16.88	-10.79	217.29	217.42	96.62	177.11	
		Safra 2010/11													
		9	22/10/2010	13.09	12.56	7.13	10.92	-18.10	-16.44	-12.26	-15.60	170.14	148.61	174.38	164.38
		13	26/10/2010	-0.44	5.90	1.14	2.20	-11.42	-12.93	-13.69	-12.68	76.44	97.64	62.26	78.78
		16	29/10/2010	26.23	18.83	11.96	19.01	-24.12	-16.35	-21.33	-20.60	178.64	119.09	175.75	157.83
		21	3/11/2010	11.64	17.82	6.25	11.90	-19.48	-23.11	-23.77	-22.12	85.52	70.27	75.88	77.22
	30	12/11/2010	10.04	26.85	9.97	15.62	-17.48	-13.07	-19.72	-16.76	81.66	76.80	71.43	76.63	
	37	19/11/2010	18.58	14.50	10.26	14.45	-9.54	-13.57	-18.56	-13.89	146.95	145.47	119.25	137.22	
	51	3/12/2010	1.38	6.63	4.47	4.16	-11.93	-26.01	-29.32	-22.42	143.44	127.76	121.79	131.00	
	65	17/12/2010	4.00	5.12	3.84	4.32	4.00	5.12	3.84	4.32	161.70	136.11	84.78	127.53	
	84	5/1/2011	0.22	2.02	3.22	1.82	0.22	2.02	3.22	1.82	247.66	260.13	267.85	258.55	
	97	18/1/2011	7.42	2.89	7.03	5.78	7.42	2.89	7.03	5.78	202.83	192.50	309.76	235.03	
	119	9/2/2011	-5.70	3.07	3.23	0.20	-5.70	3.07	3.23	0.20	98.03	102.43	222.86	141.11	

...continuação do apêndice 9.1

Tratamento	Dias após manejo	Data	N-N ₂ O				C-CH ₄				C-CO ₂				
			Rep. I	Rep. II	Rep. III	Média	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Média	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Média	
			ug m ⁻² hora ⁻¹				ug m ⁻² hora ⁻¹				ug m ⁻² hora ⁻¹				
V/M	Safra 2009/10														
	14	9/10/2009	89.78	156.18	111.33	119.09	-13.80	-6.81	-3.69	-8.10	123.78	127.71	66.02	105.84	
	18	13/10/2009	129.76	107.36	193.97	143.70	-8.86	-8.54	-4.52	-7.31	155.89	156.25	159.98	157.38	
	21	16/10/2009	103.01	140.88	155.82	133.24	34.63	13.19	29.77	25.87	106.87	71.38	58.37	78.88	
	24	19/10/2009	96.15	98.21	97.18	97.18	-12.99	-24.48	-6.95	-14.81	148.78	106.90	84.08	113.25	
	28	23/10/2009	32.67	95.89	19.09	49.22	-15.10	-20.00	-7.55	-14.22	125.34	107.90	84.22	105.82	
	31	26/10/2009	54.14	182.60	70.28	102.34	-13.31	-11.26	-6.93	-10.50	152.59	134.31	136.82	141.24	
	34	29/10/2009	28.78	30.97	40.58	33.44	14.09	-16.01	-2.21	-1.38	140.01	114.57	96.07	116.88	
	42	6/11/2009	149.21	319.31	142.75	203.76	-1.62	2.78	5.64	2.26	191.59	137.25	97.75	142.20	
	52	16/11/2009	191.86	78.34	340.24	203.48	-7.54	-6.51	10.84	-1.07	235.86	218.95	150.05	201.62	
	59	23/11/2009	85.91	76.40	165.97	109.43	-11.97	-13.30	28.41	1.04	205.06	201.07	155.17	187.10	
	73	7/12/2009	16.45	16.52	27.84	20.27	-12.69	-11.29	-3.28	-9.08	142.89	176.08	182.86	167.28	
	80	14/12/2009	29.50	19.02	49.43	32.65	-8.59	-13.33	-6.28	-9.40	89.42	128.54	127.00	114.99	
	87	21/12/2009	40.43	26.05	59.31	41.93	-13.72	-14.98	-5.93	-11.54	127.33	162.26	165.78	151.79	
	117	20/1/2010	249.72	19.87	59.90	109.83	-11.60	-12.71	-9.38	-11.23	123.81	163.94	128.01	138.59	
	131	3/2/2010	3.51	3.94	7.22	4.89	-26.30	-29.63	-22.44	-26.12	158.96	173.86	187.00	173.27	
	145	17/2/2010	3.40	0.22	5.66	3.10	-13.15	-15.46	-4.42	-11.01	147.16	161.00	145.40	151.18	
	159	3/3/2010	0.89	2.28	2.59	1.92	-36.69	-25.63	-26.71	-29.68	111.62	146.79	69.41	109.27	
	178	22/3/2010	10.11	6.14	11.10	9.12	-13.12	-25.17	-18.07	-18.79	90.80	10.99	105.96	69.25	
	199	12/4/2010	8.99	3.11	-1.67	3.48	-20.64	-17.91	-22.95	-20.50	76.34	45.43	51.79	57.85	
	255	7/6/2010	47.79	61.65	41.46	50.30	-17.58	-20.94	-11.67	-16.73	80.88	89.59	79.07	83.18	
	262	14/6/2010	9.88	8.53	6.09	8.17	-8.69	-7.54	-10.98	-9.07	65.72	60.52	63.70	63.31	
	283	5/7/2010	27.96	20.73	18.34	22.34	-14.37	-18.39	-12.54	-15.10	89.49	110.44	97.52	99.15	
	304	26/7/2010	33.48	25.38	14.97	24.61	-11.58	-15.18	-8.17	-11.64	36.69	60.06	46.40	47.72	
	318	9/8/2010	11.04	10.21	11.45	10.90	-2.02	-21.89	-17.18	-13.69	50.52	68.87	64.60	61.33	
	340	31/8/2010	58.50	42.84	17.22	39.52	-11.03	-9.74	-9.26	-10.01	85.32	118.45	100.51	101.43	
	358	18/9/2010	1.86	0.64	0.62	1.04	-16.56	-13.16	-12.94	-14.22	55.32	61.69	54.70	57.24	
	381	11/10/2010	2.32	0.14	1.71	1.39	-13.71	-20.12	-21.88	-18.57	118.78	101.98	96.24	105.67	
		Safra 2010/11													
		9	22/10/2010	39.40	6.10	24.78	23.43	-12.39	-15.82	-8.66	-12.29	208.62	140.38	137.82	162.28
		13	26/10/2010	33.57	2.21	3.07	12.95	-12.63	-13.14	-6.45	-10.74	108.38	81.48	37.56	75.81
		16	29/10/2010	19.98	4.66	5.14	9.93	-21.77	-17.03	-21.11	-19.97	115.75	78.24	65.11	86.37
		21	3/11/2010	8.18	6.39	5.76	6.77	-21.34	-24.22	-25.73	-23.76	41.84	37.38	47.66	42.29
		30	12/11/2010	8.80	2.23	2.56	4.53	-29.45	-11.70	-17.02	-19.39	71.05	56.18	52.94	60.06
		37	19/11/2010	52.47	10.23	13.71	25.47	-12.63	-18.72	-10.56	-13.97	181.21	132.21	128.34	147.25
		51	3/12/2010	6.55	5.78	0.73	4.36	-31.16	-21.14	-14.29	-22.20	159.76	141.06	145.09	148.64
		65	17/12/2010	5.78	-3.24	-3.52	-0.32	-9.86	-8.93	-14.05	-10.95	171.21	129.08	122.73	141.00
		84	5/1/2011	4.65	-0.16	-5.32	-0.28	-16.19	-22.60	-19.77	-19.52	282.16	256.57	273.62	270.79
	97	18/1/2011	5.24	4.94	15.72	8.63	42.13	-14.28	-7.15	6.90	157.80	294.24	267.77	239.93	
	119	9/2/2011	12.02	4.97	13.40	10.13	-1.47	29.46	-4.58	7.80	162.01	152.76	171.95	162.24	

...continuação do apêndice 9.1

Tratamento	Dias após manejo	Data	N-N ₂ O				C-CH ₄				C-CO ₂				
			Rep. I	Rep. II	Rep. III	Média	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Média	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Média	
			ug m ⁻² hora ⁻¹				ug m ⁻² hora ⁻¹				ug m ⁻² hora ⁻¹				
A+V/M	Safra 2009/10														
	14	9/10/2009	157.45	205.36	238.44	200.41	-4.09	-10.84	-12.37	-9.10	150.38	133.23	157.07	146.90	
	18	13/10/2009	285.46	625.53	169.34	360.11	-9.51	-0.08	-24.09	-11.22	237.97	144.56	110.24	164.26	
	21	16/10/2009	66.17	81.16	49.60	65.65	-4.87	-14.82	-12.37	-10.69	154.69	99.54	126.33	126.86	
	24	19/10/2009	34.30	172.47	72.86	93.21	-11.56	-19.89	-20.13	-17.19	130.34	124.04	117.75	124.05	
	28	23/10/2009	69.62	56.09	38.57	54.76	-16.30	-8.04	-10.27	-11.54	147.86	88.35	120.52	118.91	
	31	26/10/2009	87.52	182.18	60.27	109.99	-22.13	-19.94	-13.36	-18.48	185.54	110.69	139.90	145.38	
	34	29/10/2009	61.50	44.19	18.89	41.53	-10.53	-14.16	-0.36	-8.35	136.73	114.29	101.23	117.42	
	42	6/11/2009	363.04	341.30	75.39	259.91	-9.37	-9.51	-8.74	-9.21	281.65	135.51	194.00	203.72	
	52	16/11/2009	447.90	122.17	193.20	254.42	-5.59	-3.33	-10.91	-6.61	249.02	247.91	264.98	253.97	
	59	23/11/2009	233.92	85.14	180.35	166.47	-12.53	-3.12	-8.23	-7.96	246.87	230.31	258.00	245.06	
	73	7/12/2009	59.32	21.76	19.13	33.40	-12.99	-13.36	-18.23	-14.86	154.24	182.36	132.65	156.42	
	80	14/12/2009	76.82	31.50	30.34	46.22	-23.24	-4.68	-10.56	-12.83	105.09	148.56	135.44	129.70	
	87	21/12/2009	153.84	137.25	85.99	125.70	-12.07	1.99	-13.26	-7.78	159.59	201.73	180.14	180.48	
	117	20/1/2010	225.41	266.75	29.47	173.88	-37.89	-2.79	-8.32	-16.33	138.54	246.62	196.37	193.85	
	131	3/2/2010	6.65	13.90	5.77	8.77	-14.70	-20.66	-32.12	-22.49	176.43	181.89	122.96	160.42	
	145	17/2/2010	9.44	28.81	12.96	17.07	-3.45	-6.25	-16.30	-8.67	212.74	170.65	166.85	183.42	
	159	3/3/2010	5.76	4.76	4.22	4.91	-17.20	-16.74	-27.44	-20.46	172.38	137.58	114.02	141.33	
	178	22/3/2010	10.35	11.86	24.20	15.47	-15.18	-9.28	-9.36	-11.27	112.62	98.38	176.56	129.18	
	199	12/4/2010	1.01	13.54	0.27	4.94	-23.70	-18.81	-33.20	-25.24	66.68	66.17	59.13	64.00	
	255	7/6/2010	95.98	63.03	16.04	58.35	-11.90	-15.38	-5.51	-10.93	84.92	112.03	69.53	88.83	
	262	14/6/2010	19.30	50.34	15.39	28.34	-12.90	-13.24	-13.31	-13.15	74.48	73.70	64.91	71.03	
	283	5/7/2010	10.19	22.78	14.59	15.85	-18.32	-11.02	-19.29	-16.21	116.15	127.59	132.50	125.41	
	304	26/7/2010	6.37	7.96	20.68	11.67	-8.83	-20.19	-11.81	-13.61	63.44	67.46	74.47	68.46	
	318	9/8/2010	3.56	5.09	6.89	5.18	-6.08	-8.05	-3.92	-6.01	83.88	88.98	92.39	88.41	
	340	31/8/2010	11.42	3.28	1.82	5.51	-6.63	-9.16	-8.48	-8.09	148.58	166.48	181.50	165.52	
	358	18/9/2010	1.84	7.12	3.86	4.27	-14.88	-23.30	-28.46	-22.21	126.00	108.79	147.48	127.42	
	381	11/10/2010	1.03	1.74	-0.91	0.62	2.68	-5.60	-18.96	-7.29	229.48	196.45	228.62	218.18	
		Safra 2010/11													
		9	22/10/2010	65.22	114.66	90.76	90.21	-26.49	-47.52	-32.50	-35.50	143.50	188.26	127.05	152.94
		13	26/10/2010	23.35	25.72	22.05	23.71	-19.51	-8.22	-12.03	-13.25	116.40	83.00	96.01	98.47
		16	29/10/2010	18.69	22.91	30.11	23.90	-21.43	-22.54	-28.54	-24.17	112.05	116.93	110.22	113.07
		21	3/11/2010	8.45	6.22	9.52	8.06	-48.80	-40.14	-47.78	-45.57	67.19	74.12	84.30	75.20
		30	12/11/2010	1.90	12.68	10.74	8.44	-19.87	-16.27	-23.35	-19.83	108.05	107.09	98.01	104.38
		37	19/11/2010	32.53	98.17	27.35	52.68	-14.49	-23.37	-30.29	-22.72	257.81	258.43	176.52	230.92
		51	3/12/2010	0.00	17.14	12.79	9.98	-34.69	-26.53	-52.07	-37.76	177.53	196.19	154.31	176.01
		65	17/12/2010	3.50	18.42	16.60	12.84	-20.89	-27.78	-7.23	-18.63	217.89	248.22	231.83	232.65
		84	5/1/2011	3.40	13.03	5.99	7.47	-26.88	-23.81	-13.82	-21.50	328.72	336.21	312.68	325.87
	97	18/1/2011	5.37	7.42	2.19	4.99	-17.46	-22.97	-24.90	-21.78	265.63	256.32	294.94	272.30	
	119	9/2/2011	12.56	36.16	4.44	17.72	-10.31	-9.29	19.38	-0.07	182.90	126.40	213.23	174.18	

...continuação do apêndice 9.1

Tratamento	Dias após manejo	Data	N-N ₂ O				C-CH ₄				C-CO ₂				
			Rep. I	Rep. II	Rep. III	Média	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Média	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Média	
			ug m ⁻² hora ⁻¹				ug m ⁻² hora ⁻¹				ug m ⁻² hora ⁻¹				
A+V/IM+C	Safra 2009/10														
	14	9/10/2009	106.37	262.28	179.11	182.59	-4.61	-5.08	-12.74	-7.48	121.38	132.92	145.24	133.18	
	18	13/10/2009	197.68	340.66	375.36	304.57	-0.97	-7.35	-13.13	-7.15	150.92	189.08	217.40	185.80	
	21	16/10/2009	82.24	82.27	144.42	102.98	-4.81	-9.51	-5.82	-6.71	106.79	151.89	135.34	131.34	
	24	19/10/2009	118.78	211.77	270.65	200.40	-15.35	-22.46	-17.08	-18.30	106.63	109.80	131.21	115.88	
	28	23/10/2009	106.27	63.33	204.94	124.85	-8.74	-6.46	-8.82	-8.01	94.52	78.76	136.80	103.36	
	31	26/10/2009	292.55	152.99	266.64	237.39	-21.50	-25.50	-11.01	-19.33	123.30	134.35	159.17	138.94	
	34	29/10/2009	81.15	58.47	173.46	104.36	-5.08	-1.81	-13.02	-6.64	88.07	98.48	154.36	113.63	
	42	6/11/2009	652.33	558.20	701.83	637.45	-2.41	-5.20	-3.94	-3.85	148.58	293.25	200.68	214.17	
	52	16/11/2009	557.80	729.40	586.40	624.53	-22.76	-16.77	-12.45	-17.33	261.60	190.02	206.98	219.53	
	59	23/11/2009	326.55	293.22	326.66	315.47	-4.70	-5.09	-7.61	-5.80	242.23	205.40	175.51	207.71	
	73	7/12/2009	51.85	28.99	38.12	39.65	-27.52	-12.60	-16.10	-18.74	191.71	140.12	104.78	145.54	
	80	14/12/2009	58.15	77.31	54.28	63.25	-7.42	-10.76	-7.63	-8.60	120.66	158.78	93.28	124.24	
	87	21/12/2009	86.45	113.78	130.49	110.24	-7.77	-3.01	-5.71	-5.50	160.72	165.09	157.69	161.17	
	117	20/1/2010	123.20	30.41	37.18	63.60	-14.85	-14.93	-4.83	-11.54	177.62	234.68	231.44	214.58	
	131	3/2/2010	9.27	8.87	11.42	9.85	-28.34	-29.18	-27.99	-28.51	219.42	194.02	193.94	202.46	
	145	17/2/2010	2.71	36.83	42.07	27.20	-6.81	-10.19	-2.65	-6.55	141.49	249.53	133.49	174.84	
	159	3/3/2010	1.77	6.79	24.26	10.94	-25.44	-24.88	-25.93	-25.42	110.55	142.59	153.10	135.41	
	178	22/3/2010	2.77	33.68	27.36	21.27	-15.12	-15.79	-10.41	-13.77	179.08	187.98	189.13	185.40	
	199	12/4/2010	11.79	12.47	0.89	8.38	-21.75	-25.25	-36.14	-27.71	108.43	73.39	68.62	83.48	
	255	7/6/2010	66.77	353.95	176.40	199.04	-12.35	-12.35	-13.11	-12.60	123.96	102.94	98.93	108.61	
	262	14/6/2010	18.64	86.03	45.95	50.21	-17.52	-16.72	-16.64	-16.96	95.33	66.90	77.69	79.98	
	283	5/7/2010	41.34	86.81	62.38	63.51	-15.12	-10.26	-11.12	-12.17	139.03	126.28	140.01	135.11	
	304	26/7/2010	73.63	69.59	123.00	88.74	-21.36	-10.78	-17.14	-16.43	130.31	68.47	114.54	104.44	
	318	9/8/2010	2.71	12.25	7.57	7.51	-15.99	-8.36	-16.56	-13.64	82.27	72.61	91.83	82.24	
	340	31/8/2010	14.70	10.45	5.62	10.26	-8.30	-6.08	-8.69	-7.69	210.95	169.85	128.90	169.90	
	358	18/9/2010	5.50	7.13	6.26	6.30	-5.31	-8.60	-6.81	-6.91	184.37	144.56	88.69	139.21	
	381	11/10/2010	11.44	9.03	5.47	8.65	-6.86	-12.41	-8.25	-9.17	114.40	242.16	196.61	184.39	
		Safra 2010/11													
		9	22/10/2010	92.44	128.52	86.96	102.64	-20.54	-20.12	-25.75	-22.13	172.72	282.95	258.35	238.01
		13	26/10/2010	32.12	83.15	29.63	48.30	-13.56	-20.99	-18.76	-17.77	181.06	292.57	267.50	247.04
		16	29/10/2010	19.67	67.57	60.06	49.10	-30.35	-22.67	-24.24	-25.76	112.33	135.92	238.15	162.13
		21	3/11/2010	4.00	16.63	10.54	10.39	-32.42	-32.26	-39.80	-34.83	64.77	91.43	86.85	81.02
		30	12/11/2010	3.00	10.97	26.20	13.39	-20.82	-21.07	-27.64	-23.18	101.67	89.35	118.61	103.21
		37	19/11/2010	36.55	68.60	251.88	119.01	12.03	-16.05	-0.10	-1.37	272.82	202.70	251.40	242.31
		51	3/12/2010	9.30	16.16	9.42	11.63	-39.96	0.00	-26.53	-22.16	175.66	276.43	219.16	223.75
		65	17/12/2010	-3.88	3.89	12.52	4.17	-16.67	-17.05	-11.45	-15.06	212.54	252.06	250.00	238.20
		84	5/1/2011	2.49	4.64	12.67	6.60	-40.71	-26.95	-22.52	-30.06	308.08	386.38	408.59	367.68
	97	18/1/2011	4.91	12.90	4.20	7.34	-4.31	0.09	2.57	-0.55	272.45	382.64	310.80	321.97	
	119	9/2/2011	9.78	5.49	3.96	6.41	-9.44	-9.79	-8.96	-9.40	250.42	276.71	298.46	275.20	

...continuação do apêndice 9.1

Tratamento	Dias após manejo	Data	N-N ₂ O			C-CH ₄			C-CO ₂		
			Rep I	Rep II	Média	Rep I	Rep II	Média	Rep I	Rep II	Média
			ug m ⁻² hora ⁻¹			ug m ⁻² hora ⁻¹			ug m ⁻² hora ⁻¹		
LL+M	Safra 2009/10										
	14	9/10/2009	54.95	27.19	41.07	-18.65	-20.84	-19.75	96.77	89.70	93.23
	18	13/10/2009	93.42	45.78	69.60	-12.67	-11.54	-12.10	140.58	163.04	151.81
	21	16/10/2009	45.68	38.53	42.11	-2.24	-9.41	-5.82	92.05	84.53	88.29
	24	19/10/2009	72.78	55.16	63.97	-21.47	-28.18	-24.82	61.84	101.55	81.69
	28	23/10/2009	1.43	28.12	14.77	9.55	16.11	12.83	30.13	120.77	75.45
	31	26/10/2009	36.20	20.87	28.53	-14.82	-20.57	-17.69	99.40	118.82	109.11
	34	29/10/2009	19.95	5.65	12.80	4.77	-5.50	-0.37	71.38	48.71	60.05
	42	6/11/2009	140.80	113.54	127.17	-0.79	-1.45	-1.12	166.07	214.50	190.28
	52	16/11/2009	390.12	64.41	227.27	-8.73	-8.15	-8.44	236.21	108.64	172.43
	59	23/11/2009	244.64	45.66	145.15	-7.24	-2.23	-4.73	142.72	160.08	151.40
	73	7/12/2009	68.68	15.11	41.89	-10.20	-14.73	-12.47	132.36	105.50	118.93
	80	14/12/2009	93.55	21.73	57.64	-14.34	-13.88	-14.11	114.72	156.10	135.41
	87	21/12/2009	32.64	20.66	26.65	-11.72	-21.40	-16.56	167.43	201.67	184.55
	117	20/1/2010	43.55	10.01	26.78	-10.87	-12.22	-11.55	181.81	221.47	201.64
	131	3/2/2010	12.40	7.89	10.15	-47.69	-12.44	-30.06	152.44	207.97	180.21
	145	17/2/2010	75.96	22.47	49.21	-8.38	-8.19	-8.28	173.04	208.99	191.02
	159	3/3/2010	2.10	5.48	3.79	-22.13	-24.49	-23.31	120.82	152.98	136.90
	178	22/3/2010	24.18	11.40	17.79	-14.77	-12.97	-13.87	166.15	183.50	174.82
	199	12/4/2010	2.67	3.65	3.16	21.32	-25.67	-2.18	182.32	119.37	150.84
	255	7/6/2010	21.72	0.35	11.03	-6.98	-14.65	-10.81	70.04	63.14	66.59
	262	14/6/2010	4.63	6.53	5.58	-8.62	-10.91	-9.76	71.43	88.65	80.04
	283	5/7/2010	8.21	8.26	8.24	-10.70	-14.60	-12.65	76.07	79.00	77.54
304	26/7/2010	7.51	2.46	4.98	-14.02	-14.06	-14.04	61.15	38.91	50.03	
318	9/8/2010	2.63	7.82	5.23	-15.02	-11.12	-13.07	87.16	99.41	93.29	
340	31/8/2010	19.46	36.50	27.98	-8.11	-11.94	-10.03	170.14	208.47	189.31	
358	18/9/2010	4.96	3.48	4.22	-18.84	-21.24	-20.04	72.18	125.41	98.80	
381	11/10/2010	5.94	6.08	6.01	1.90	-16.60	-7.35	198.50	128.81	163.66	

Apêndice 9.2 Variáveis controladoras das emissões de N₂O, CH₄ e CO₂ (µg m⁻² h⁻¹) no solo na safra 2009/10 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C: Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto.

Tratamento	Data	Dias após manejo	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		COD		PPA		Temperatura
			Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média
			mg kg ⁻¹						%		°C
A/M	09/10/09	14	29.26	0.84	7.22	1.48	77.96	3.81	57.07	1.00	15.0
	13/10/09	18	19.51	5.81	5.41	2.63	103.75	12.27	69.03	2.95	18.3
	16/10/09	21	21.54	6.79	7.21	2.07	52.79	3.26	54.60	1.28	14.9
	19/10/09	24	10.12	2.91	4.32	1.48	109.78	22.90	48.64	0.69	20.7
	23/10/09	28	5.03	1.26	3.21	0.93	89.73	6.28	44.93	2.58	20.2
	26/10/09	31	26.43	6.85	4.20	2.20	55.46	5.02	61.97	1.71	19.5
	29/10/09	34	15.08	4.69	0.93	0.47	109.69	12.51	50.79	1.52	20.9
	06/11/09	42	13.78	7.09	7.14	3.52	95.64	7.08	64.45	1.28	23.9
	16/11/09	52	9.70	1.41	3.90	0.68	65.29	5.37	62.35	2.24	21.5
	23/11/09	59	10.62	3.39	4.64	1.11	100.84	4.87	64.88	0.31	23.5
	07/12/09	73	16.08	0.94	5.14	0.73	113.75	9.09	58.29	1.53	21.3
	14/12/09	80	9.02	1.49	4.32	1.93	91.05	19.13	61.80	4.85	24.6
	21/12/09	87	2.31	0.54	2.83	0.83	87.29	4.38	61.55	8.36	25.2
	20/01/10	117	12.02	1.39	5.29	0.98	84.07	10.61	66.69	1.55	25.1
	03/02/10	131	18.87	6.78	7.81	4.96	206.37	19.70	35.44	4.67	29.8
	17/02/10	145	15.18	2.36	11.73	2.74	169.40	15.67	64.28	5.46	23.7
	03/03/10	159	8.85	4.20	4.60	1.39	198.40	5.42	31.92	1.98	25.5
	22/03/10	178	5.60	0.55	4.13	0.47	154.63	15.79	67.29	2.29	23.2
	12/04/10	199	8.58	1.56	6.05	1.27	200.33	26.46	43.89	2.28	20.1
	07/06/10	255	7.19	1.46	4.03	0.61	167.27	12.23	62.96	2.83	11.6
14/06/10	262	6.60	1.20	7.43	0.89	89.37	4.94	54.20	1.37	12.8	
05/07/10	283	13.77	2.49	13.20	2.39	72.99	2.98	55.66	1.54	14.5	
26/07/10	304	8.48	1.67	11.31	2.39	93.27	10.87	75.37	5.07	10.5	
09/08/10	318	8.90	2.19	9.67	0.65	63.64	4.38	75.71	4.44	10.5	
31/08/10	340	19.49	1.30	21.70	1.92	100.79	13.49	67.44	13.49	16.4	
18/09/10	358	9.02	0.32	12.67	0.86	96.47	22.15	55.30	12.15	14.4	
11/10/10	381	12.23	1.90	6.75	0.64	82.35	9.36	54.00	9.36	17.7	

...continuação do apêndice 9.2

Tratamento	Data	Dias após manejo	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		COD		PPA		Temperatura
			Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média
			mg kg ⁻¹						%		°C
V/M	09/10/09	14	29.33	3.14	7.22	1.48	79.42	5.72	67.44	1.40	15.6
	13/10/09	18	20.17	3.87	5.41	3.34	98.47	16.20	76.42	0.65	17.4
	16/10/09	21	22.80	7.83	7.21	2.10	56.86	3.28	61.49	5.38	15.4
	19/10/09	24	10.67	1.70	4.32	2.69	105.36	28.01	64.89	1.77	19.4
	23/10/09	28	12.30	1.51	3.21	1.88	93.44	14.41	57.35	2.82	19.3
	26/10/09	31	23.41	7.08	4.20	2.02	62.99	2.83	71.91	2.42	19.4
	29/10/09	34	12.62	1.55	0.93	1.12	116.30	20.40	59.07	0.86	19.8
	06/11/09	42	12.47	3.18	7.14	2.77	97.19	11.97	70.60	2.39	23.5
	16/11/09	52	7.86	1.15	3.90	1.10	68.80	1.52	72.69	3.48	20.1
	23/11/09	59	12.77	2.52	4.64	1.01	87.49	6.22	75.46	3.22	22.1
	07/12/09	73	14.35	2.04	5.14	1.41	113.36	6.97	65.45	5.18	21.2
	14/12/09	80	11.04	2.86	4.32	4.26	100.09	13.05	69.00	1.60	20.0
	21/12/09	87	4.14	0.95	2.83	1.23	94.18	21.33	65.56	1.39	25.2
	20/01/10	117	8.91	1.58	5.29	0.46	99.03	13.34	75.19	2.74	25.1
	03/02/10	131	15.05	3.78	7.81	3.74	230.30	14.23	40.98	1.28	29.8
	17/02/10	145	15.27	2.98	11.73	2.88	163.03	15.71	71.09	4.04	23.7
	03/03/10	159	8.25	1.33	4.60	0.69	226.70	10.09	39.26	0.26	25.5
	22/03/10	178	5.39	1.01	4.13	0.13	186.63	37.61	70.56	3.70	23.2
	12/04/10	199	9.03	2.11	6.05	1.38	230.40	6.79	54.17	0.99	20.1
	07/06/10	255	9.48	1.14	4.03	0.84	119.22	23.70	71.90	2.93	12.1
14/06/10	262	8.42	0.96	7.43	1.35	101.33	4.74	61.01	3.12	13.1	
05/07/10	283	14.58	1.22	13.20	2.11	76.05	2.93	68.13	4.02	14.3	
26/07/10	304	6.13	0.96	11.31	1.86	90.45	10.05	77.13	1.27	10.3	
09/08/10	318	7.47	0.86	9.67	1.19	88.79	8.75	83.08	2.12	10.3	
31/08/10	340	21.52	1.79	21.70	0.91	109.96	24.00	87.78	14.00	16.3	
18/09/10	358	7.74	1.77	12.67	2.18	90.00	11.81	61.43	11.81	14.0	
11/10/10	381	12.55	1.37	6.75	1.41	87.03	17.78	58.24	17.78	15.5	

...continuação do apêndice 9.2

Tratamento	Data	Dias após manejo	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		COD		PPA		Temperatura
			Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média
			mg kg ⁻¹						%		°C
A+V/M	09/10/09	14	22.30	3.20	7.87	1.40	70.86	12.15	77.46	1.63	16.0
	13/10/09	18	36.27	4.34	8.72	3.82	98.52	10.75	89.00	1.36	18.9
	16/10/09	21	21.15	4.38	5.47	2.42	58.24	3.75	85.98	1.98	15.6
	19/10/09	24	8.50	2.53	9.68	2.94	103.80	13.50	82.51	2.93	21.0
	23/10/09	28	14.89	4.89	11.47	3.75	93.16	13.30	66.31	4.41	20.6
	26/10/09	31	23.29	5.74	10.18	2.81	95.44	32.49	84.10	1.97	20.2
	29/10/09	34	19.27	2.27	3.63	0.27	89.57	3.45	70.16	1.98	20.8
	06/11/09	42	9.34	1.62	8.37	0.83	74.16	6.77	85.85	2.77	23.2
	16/11/09	52	12.98	2.15	4.00	0.60	74.93	9.18	87.54	4.41	21.5
	23/11/09	59	11.47	2.42	6.27	1.40	93.38	6.14	84.04	3.38	23.7
	07/12/09	73	12.68	4.69	1.62	0.52	99.23	13.16	68.35	2.89	22.1
	14/12/09	80	8.65	2.23	6.09	1.99	66.83	11.17	83.22	1.68	21.4
	21/12/09	87	3.28	1.05	3.03	0.88	91.25	17.16	70.96	3.65	25.2
	20/01/10	117	21.65	3.15	10.52	2.40	84.25	6.95	87.62	4.96	24.7
	03/02/10	131	18.97	2.96	13.42	3.25	202.97	22.12	48.43	5.04	30.4
	17/02/10	145	21.25	1.99	14.15	4.21	147.07	31.09	81.05	0.36	25.0
	03/03/10	159	9.03	1.64	4.76	1.34	233.53	18.80	43.66	3.01	25.7
	22/03/10	178	10.86	1.88	9.35	1.02	166.77	6.17	66.23	8.09	23.6
	12/04/10	199	11.38	3.69	10.48	2.15	198.67	3.98	67.31	1.55	21.0
	07/06/10	255	8.31	1.67	4.60	0.91	192.93	4.75	84.39	2.13	12.4
14/06/10	262	11.83	1.96	10.24	0.61	86.61	2.93	72.14	1.45	13.2	
05/07/10	283	17.90	2.10	19.50	2.81	77.05	7.24	74.75	4.13	15.3	
26/07/10	304	5.75	1.23	9.63	1.30	91.03	14.77	85.51	3.59	10.9	
09/08/10	318	13.59	2.04	17.11	1.79	66.93	6.89	84.50	4.21	11.2	
31/08/10	340	19.83	1.62	21.20	2.02	87.94	1.50	90.92	1.50	16.8	
18/09/10	358	9.52	0.76	12.58	0.30	79.12	7.13	67.57	7.13	15.0	
11/10/10	381	15.94	1.23	15.32	3.06	87.07	7.54	71.60	7.54	16.0	

...continuação do apêndice 9.2

Tratamento	Data	Dias após manejo	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		COD		PPA		Temperatura
			Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média
			mg kg ⁻¹						%		°C
A+V/IM+C	09/10/09	14	31.85	5.24	8.13	0.95	78.31	6.13	84.00	7.13	16.0
	13/10/09	18	18.92	8.31	10.05	2.71	116.09	11.95	84.18	3.93	18.9
	16/10/09	21	16.37	4.32	5.07	1.27	72.34	7.82	84.96	4.09	15.6
	19/10/09	24	9.17	2.87	6.40	1.14	109.13	10.60	82.92	1.58	20.3
	23/10/09	28	11.48	3.11	9.83	2.68	179.74	35.63	73.21	2.70	20.5
	26/10/09	31	29.70	4.44	4.10	1.36	75.99	3.12	80.07	0.37	19.8
	29/10/09	34	16.51	2.62	3.82	1.29	99.79	22.34	72.18	3.36	20.7
	06/11/09	42	14.88	1.88	12.84	2.88	91.79	13.04	90.34	2.88	23.5
	16/11/09	52	11.89	3.03	7.02	0.78	83.26	4.63	89.79	4.40	20.7
	23/11/09	59	17.13	1.47	6.73	1.34	112.10	28.68	83.25	2.27	23.1
	07/12/09	73	14.30	4.80	1.95	0.88	91.70	18.90	70.93	2.97	21.3
	14/12/09	80	5.87	1.73	3.77	1.25	148.04	64.56	81.03	5.33	20.1
	21/12/09	87	1.95	0.57	3.64	0.67	94.89	5.90	87.08	9.64	25.5
	20/01/10	117	21.65	2.29	10.20	2.05	76.74	10.65	84.49	3.86	24.9
	03/02/10	131	13.44	2.30	7.52	1.59	195.40	9.62	49.15	1.79	29.4
	17/02/10	145	17.16	3.48	13.23	1.21	139.10	17.43	77.88	4.16	24.7
	03/03/10	159	9.31	2.91	6.27	1.51	234.33	18.88	43.98	0.61	25.0
	22/03/10	178	12.04	1.99	10.62	1.39	204.07	7.99	81.20	3.99	22.9
	12/04/10	199	7.91	1.50	9.19	1.59	169.70	15.92	56.58	4.40	19.9
	07/06/10	255	7.32	1.36	4.24	0.57	158.19	35.00	81.70	3.79	12.4
14/06/10	262	7.01	0.44	6.89	0.64	85.39	13.21	77.80	0.73	13.2	
05/07/10	283	12.97	1.73	13.34	2.41	74.36	3.80	82.01	3.27	15.3	
26/07/10	304	6.85	1.68	10.71	2.13	85.18	13.98	90.55	9.26	10.9	
09/08/10	318	10.88	2.04	15.47	3.03	74.63	3.64	92.46	4.36	11.2	
31/08/10	340	24.48	1.39	24.54	1.38	120.97	4.09	88.12	4.09	16.8	
18/09/10	358	11.60	0.82	15.73	1.98	99.19	2.15	75.24	2.15	15.0	
11/10/10	381	12.75	1.49	12.48	3.27	99.88	10.63	70.96	10.63	16.0	

...continuação do apêndice 9.2

Tratamento	Data	Dias após manejo	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		COD		PPA		Temperatura
			Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média
			mg kg ⁻¹						%		°C
LL+M	09/10/09	14	40.10	5.87	12.72	2.43	119.07	18.69	85.51	6.89	15.4
	13/10/09	18	28.63	3.76	13.00	2.61	154.73	30.63	85.75	5.54	19.9
	16/10/09	21	12.11	4.64	3.83	0.84	85.11	10.02	92.69	0.00	15.3
	19/10/09	24	10.94	3.30	8.65	1.88	113.79	17.16	79.49	3.71	20.8
	23/10/09	28	11.09	5.54	12.14	5.66	133.57	17.33	69.42	2.49	21.2
	26/10/09	31	13.03	4.26	5.37	1.06	98.79	8.37	80.23	3.99	20.3
	29/10/09	34	20.78	2.42	6.54	0.58	97.05	5.53	69.15	0.27	21.8
	06/11/09	42	9.36	2.80	15.80	4.72	108.08	4.88	85.80	4.47	23.6
	16/11/09	52	9.35	1.07	8.45	0.44	95.66	7.11	92.66	2.36	21.2
	23/11/09	59	16.82	3.10	5.96	1.06	171.42	30.88	93.33	4.89	23.8
	07/12/09	73	14.54	2.61	4.68	1.75	106.25	13.22	75.16	1.57	21.4
	14/12/09	80	13.24	1.85	4.34	1.49	99.79	7.96	79.71	2.73	20.7
	21/12/09	87	2.29	1.07	3.26	0.86	92.83	9.09	53.68	15.11	25.7
	20/01/10	117	22.03	2.42	7.50	1.43	101.20	6.75	83.70	5.79	24.0
	03/02/10	131	17.80	2.48	3.98	0.44	192.45	0.45	55.17	2.98	29.8
	17/02/10	145	10.30	2.72	7.71	2.08	121.10	7.10	89.66	7.63	25.0
	03/03/10	159	8.56	2.71	2.23	0.77	233.65	29.05	52.39	1.54	26.0
	22/03/10	178	17.08	2.73	17.24	2.91	204.50	18.90	85.75	2.15	24.2
	12/04/10	199	11.17	1.30	10.31	0.54	108.70	3.00	61.60	3.64	20.3
	07/06/10	255	9.21	0.94	6.13	0.88	189.80	13.40	82.06	1.32	12.4
14/06/10	262	7.03	0.09	7.53	0.20	99.46	7.94	64.12	0.46	13.2	
05/07/10	283	18.32	0.88	18.94	1.44	107.90	4.50	79.47	1.47	15.3	
26/07/10	304	3.53	1.03	8.79	1.68	93.90	4.30	87.38	6.38	10.9	
09/08/10	318	8.98	2.47	17.41	3.90	92.75	19.15	92.06	1.79	11.2	
31/08/10	340	23.26	1.36	23.15	2.46	137.15	22.55	97.54	12.55	16.8	
18/09/10	358	8.65	0.70	13.58	1.00	120.25	9.45	78.40	9.45	15.0	
11/10/10	381	16.47	1.75	14.98	1.41	113.75	4.85	65.33	4.85	16.0	

Apêndice 9.3 Variáveis controladoras das emissões de N₂O, CH₄ e CO₂ (µg m⁻² h⁻¹) no solo no pós-manejo da safra 2010/11 em sistemas de culturas (A/M: Aveia/Milho, V/M: Ervilhaca/Milho, A+V/M, Aveia+Ervilhaca/Milho, A+V/M+C:Aveia+Ervilhaca/Milho+Caupi, LL+M: Lablab + Milho) em plantio direto.

Tratamento	Data	Dias após manejo	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		COD		PPA		Temperatura
			Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média
A/M			mg kg ⁻¹						%		°C
	22/10/2010	9	6.66	0.69	7.22	1.15	92.78	23.11	60.52	1.82	20.3
	26/10/2010	13	11.35	0.86	5.41	0.34	78.90	5.39	63.32	2.64	17.2
	29/10/2010	16	16.83	4.13	7.21	5.06	74.94	12.48	56.59	5.99	19.3
	03/11/2010	21	14.20	2.56	5.76	4.03	75.01	9.64	53.06	3.12	19.4
	12/11/2010	30	11.56	0.99	4.32	2.99	75.08	6.79	49.54	0.25	17.5
	19/11/2010	37	10.86	1.82	3.21	0.96	102.99	9.38	61.82	1.21	20.7
	03/12/2010	51	10.86	1.82	3.21	0.96	102.99	9.38	37.79	2.66	25.0
	17/12/2010	65							41.79	1.83	24.9
	05/01/2011	84							58.41	0.98	25.0
18/01/2011	97							66.04	2.03	24.6	
09/02/2011	119							69.39	4.73	25.4	

Tratamento	Data	Dias após manejo	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		COD		PPA		Temperatura
			Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média
V/M			mg kg ⁻¹						%		°C
	22/10/2010	9	8.03	1.74	5.79	1.19	78.98	4.40	55.25	1.76	20.3
	26/10/2010	13	10.55	2.06	11.45	2.64	79.70	10.08	54.69	0.20	17.2
	29/10/2010	16	18.95	2.85	15.00	3.51	86.94	20.61	47.10	0.54	19.3
	03/11/2010	21	14.08	2.45	11.97	2.70	88.27	13.02	47.71	1.43	19.4
	12/11/2010	30	9.20	2.05	8.94	1.88	89.60	5.44	48.32	2.32	17.5
	19/11/2010	37	10.62	1.39	11.02	1.88	92.07	8.05	63.04	2.40	20.7
	03/12/2010	51	10.62	1.39	11.02	1.88	92.07	8.05	52.25	10.02	25.0
	17/12/2010	65							39.77	2.43	24.9
	05/01/2011	84							60.82	4.84	25.0
18/01/2011	97							65.51	2.16	24.6	
09/02/2011	119							79.08	6.44	25.4	

...continuação do apêndice 9.3

Tratamento	Data	Dias após manejo	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		COD		PPA		Temperatura
			Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média
A+V/M			mg kg ⁻¹				%				°C
	22/10/2010	9	10.09	3.20	8.63	1.40	74.21	1.93	74.64	16.03	21.7
	26/10/2010	13	17.67	4.34	8.72	3.82	88.83	13.92	69.03	14.74	20.6
	29/10/2010	16	15.46	4.38	5.47	2.42	70.84	8.75	66.64	15.03	20.4
	03/11/2010	21	12.30	3.46	7.58	2.68	77.59	6.60	61.93	8.83	21.1
	12/11/2010	30	9.13	2.53	9.68	2.94	84.34	4.45	57.23	2.64	19.0
	19/11/2010	37	16.41	4.89	11.47	3.75	78.19	1.51	72.42	1.89	23.4
	03/12/2010	51	16.41	4.89	11.47	3.75	78.19	1.51	54.26	2.82	25.8
	17/12/2010	65							59.18	1.96	25.4
	05/01/2011	84							81.19	12.89	25.9
18/01/2011	97							80.28	5.55	24.8	
09/02/2011	119							75.60	0.91	26.3	

Tratamento	Data	Dias após manejo	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		COD		PPA		Temperatura
			Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média	Erro	Média
A+V/M+C			mg kg ⁻¹				%				°C
	22/10/2010	9	9.05	5.24	8.13	0.95	114.77	20.68	72.59	6.59	21.4
	26/10/2010	13	18.92	8.31	10.05	2.71	86.04	7.59	87.58	2.11	20.6
	29/10/2010	16	14.18	4.32	5.07	1.27	94.95	12.39	69.92	9.26	20.0
	03/11/2010	21	11.67	3.59	5.74	1.20	104.32	9.68	66.54	7.12	20.3
	12/11/2010	30	9.17	2.87	6.40	1.14	113.70	6.97	63.16	4.97	18.7
	19/11/2010	37	11.48	3.11	9.83	2.68	96.25	9.48	72.90	1.27	23.1
	03/12/2010	51	11.48	3.11	9.83	2.68	96.25	9.48	59.64	5.17	25.4
	17/12/2010	65							67.53	3.85	25.2
	05/01/2011	84							68.92	1.99	25.9
18/01/2011	97							58.20	23.91	25.1	
09/02/2011	119							87.41	3.39	26.0	