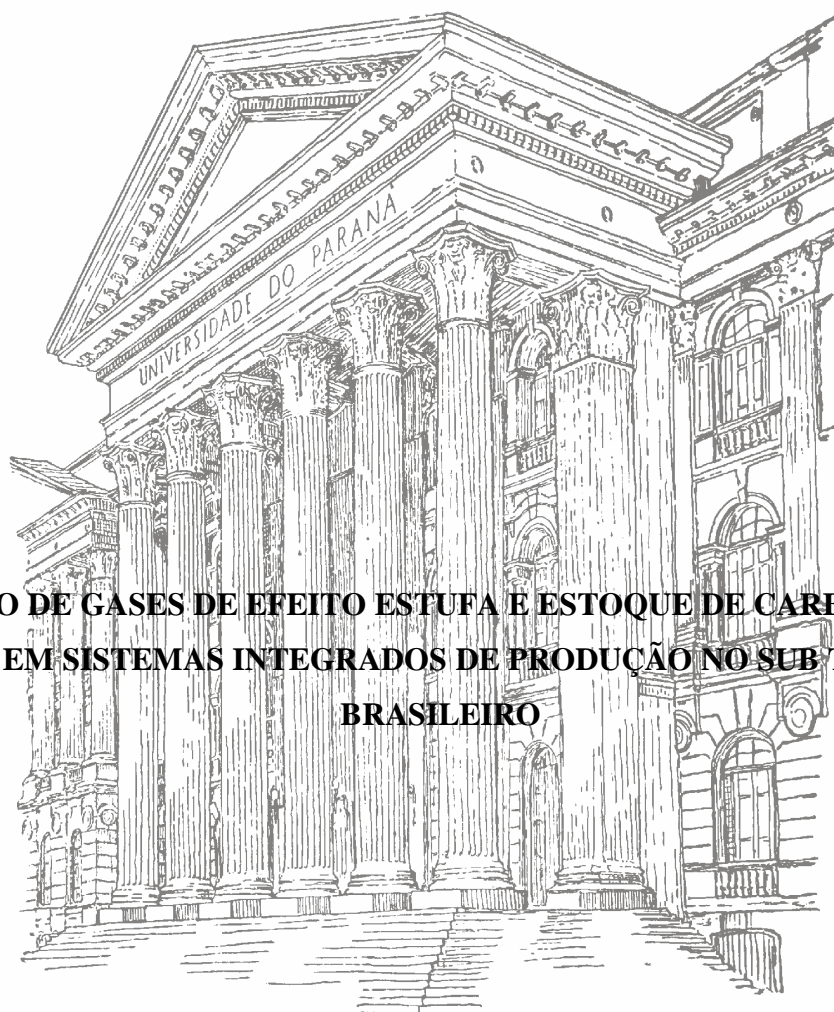


**JONATAS THIAGO PIVA**



**FLUXO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E ESTOQUE DE CARBONO DO  
SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO NO SUB TRÓPICO  
BRASILEIRO**

**CURITIBA**

**2012**

**JONATAS THIAGO PIVA**

Engenheiro Agrônomo (UTFPR)

MSc. Ciência do Solo (UFPR)

**FLUXO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E ESTOQUE DE CARBONO DO  
SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO NO SUB TRÓPICO  
BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal, Linha de Pesquisa Sistemas Integrados, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Anibal de Moraes

Co-Orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

**CURITIBA**

**2012**

## **Página de homologação**

*Dedico este trabalho aos meus pais,  
**Hilário “in memorian” e Leocirse Piva,**  
Aos meus irmãos,  
**Clovis, Claudete, Claudiney e Marlova,**  
E a minha esposa,  
**Claudia Guginski Piva**  
Amo Vocês!!!*

## AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, por me guiar e me conceder todas as possibilidades.

Ao professor Anibal de Moraes não só pela orientação na tese, mas também pelo exemplo de pessoa, e acima de tudo pela amizade e confiança depositadas em mim.

Ao professor e amigo Jeferson Dieckow que desde o mestrado vem com empenho e dedicação extremos me ajudando a conduzir os trabalhos de pesquisa, mas também pela amizade e exemplo de pessoa, tanto no aspecto profissional, como no pessoal demonstrado durante esses cinco anos de convivência.

Ao professor Luís César Cassol, mais do que uma pessoa de extrema inteligência e competência, em quem me espelhei profissionalmente, mas sim um verdadeiro “pai” para mim, e sem dúvida um dos principais responsáveis pelas minhas conquistas profissionais até hoje.

Ao professor Cimélio Bayer pelo apoio dado para condução desse projeto.

Ao professor Itacir Eloi Sandini pela disponibilidade da área de estudo e pela ajuda no desenvolvimento do trabalho na Unicentro.

Ao amigo e colega Porfírio, pela ajuda na condução das avaliações e pela amizade adquirida ao longo do Doutorado.

Aos funcionários e estagiários do Laboratório de Solos da UTFPR, em especial a Tici, Jéssica, Ricardo, Eduardo, Minato, Tabolka, Jéssica F. e Mateus.

Ao pessoal do Laboratório de Manejo de solos da UFRGS em especial a Carla Machado da Rosa e Luís Antônio da Silveira “Tonho”.

A todos os meus colegas e amigos do Doutorado do PPG em Produção Vegetal em especial ao meu compadre Laércio, que sempre esteve no meu lado me ajudando e me aconselhando. Aos colegas Paulo e Christiano pelo apoio em atividades e constante troca de idéias e aprendizado conjunto.

Aos amigos do PPG em Ciência do Solo André, Maico, Marcio e Ambrosio, pela ajuda constante nos experimentos, e pela amizade adquirida ao longo das várias coletas de gases nos domingos de manhã.

A minha família, em especial ao meu pai seu Hilário “*in memoriam*” que mesmo não estado mais presente entre nós, foi, é e sempre será o meu maior exemplo de pessoa, o qual me ensinou a ter princípios e ser a pessoa que sou.

A minha mãe, Dona Leocirse, que sempre batalhou em casa para que seus filhos estudassem, ensinando as primeiras palavras, e sempre apoiando a busca constante do conhecimento e da aprendizagem.

Aos meus irmãos Clóvis e Claudiney pelo apoio financeiro e pessoal, para condução do meu estudo, mas principalmente pelo que representam para mim, são o exemplo que sempre pretendo seguir.

As minhas irmãs Claudete e Marlova, que sempre estiveram do meu lado me apoiando e me incentivando para continuar com os estudos.

E por fim, a pessoa que esteve do começo ao fim, literalmente ao meu lado, nas madrugadas de feriados, sábados e domingos em coletas de campo, no laboratório, a minha amada esposa, Claudia. Obrigado pela pessoa que você é, e por fazer parte da minha vida.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, o meu muito obrigado.

Gostaria de agradecer em especial às instituições e departamentos listados abaixo:

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Universidade do Centro Oeste (UNICENTRO)

Laboratório de Solos (UTFPR)

Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR)

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Florestas (EMBRAPA)

Departamento de Fitotecnia - UFPR

Departamento de Solos - UFPR

Programa de Pós-Graduação em Agronomia – UFPR

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo – UFPR

CAPES

# **FLUXO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO NO SUB TRÓPICO BRASILEIRO**

Autor: Eng. Agr. Msc. Jonatas Thiago Piva

Orientador: Prof. Dr. Anibal de Moraes

**RESUMO:** No Brasil a emissão de gases de efeito estufa tem como principal fonte as atividades ligadas ao setor agropecuário. Assim, buscam-se estratégias de produção que aumentem a quantidade de grãos, carnes e fibras de forma mais sustentável possível, aliado a preservação do ambiente. O objetivo do trabalho foi avaliar a dinâmica de carbono e o fluxo de gases de efeito estufa em sistemas integrados de produção. Foram utilizadas duas áreas experimentais. A primeira área pertence à UNICENTRO em Guarapuava-PR. O experimento consiste de doses de N, com e sem pastejo por ovinos, com três repetições, nesta área avaliou-se a emissão de gases de efeito estufa (GEE) durante um ano agrícola. A outra área de estudo pertence à Fazenda Modelo do IAPAR, em Ponta Grossa-PR. O experimento consiste de três sistemas de uso do solo em plantio direto: lavoura; integração lavoura-pecuária; integração lavoura-pecuária floresta, com três repetições, na qual avaliou-se a emissão de GEE durante duas safras agrícolas. As avaliações dos gases de efeito estufa nos dois experimentos foram realizadas utilizando o método da câmara + base estática. As amostras foram analisadas por cromatografia gasosa. Para determinar a concentração de carbono orgânico total (COT), amostras foram coletadas até 100 cm de profundidade e analisadas por um analisador de carbono TOC-V. As emissões de óxido nitroso ( $N_2O$ ) foram baixas na maior parte do período, tendo picos de emissão logo após a aplicação do N mineral, para os dois locais avaliados, sendo sempre menor o fluxo nas áreas com pastejo, comparado a área somente de cobertura. Com relação ao metano ( $CH_4$ ) o solo manteve uma tendência de dreno desse gás ao longo das avaliações, mas também teve picos isolados de emissão após a aplicação de N associados a um teor de umidade maior. A contribuição dos dejetos para emissão de  $N_2O$  e  $CH_4$  das áreas em sistemas integrados foi alta, mostrando que deve-se buscar entender melhor a contribuição desses dejetos para a emissão total do sistema. A concentração de carbono (C) foi maior na superfície do solo diminuindo em profundidade. O estoque de C nos sistemas integrados foi maior do que o observado nos sistemas exclusivos de lavoura. Sistemas integrados apresentam potencial para mitigar a emissão de gases de efeito estufa, através da absorção destes no solo, mas vale salientar que existe uma contribuição para a emissão, oriunda dos dejetos, que precisa ser melhor estudada.

**Palavras chaves:** Sequestro de C; plantio direto; pastejo; gases de efeito estufa.

# **FLOW OF GREENHOUSE GASES AND SOIL CARBON STOCK IN INTEGRATED SYSTEMS PRODUCTION IN SUB TROPICS BRAZILIAN**

Author: Eng. Agr. Msc. Jonatas Thiago Piva

Advisor: Teach. Doc. Anibal de Moraes

**ABSTRACT:** In Brazil, the emission of greenhouse gases whose main source activities related to the agricultural sector. Thus, they are production strategies that increase the amount of grain, meat and fiber more sustainably as possible, coupled with preservation of the environment. The objective of this study was to assess the carbon dynamics and the flow of greenhouse gases in integrated production systems. We used two experimental areas. The first area pertains to UNICENTRO Guarapuava-PR. The experiment consists of N, with and without grazing by sheep, with three replicates in this area evaluated the emission of greenhouse gases (GHG) during a crop year. The other study area belongs to the Model Farm IAPAR, in Ponta Grossa-PR. The experiment consists of three systems of land use in tillage, crop, crop-livestock integration, crop-livestock integration forest, with three replications, in which we evaluated the emissions of GHG during two growing seasons. The assessments of greenhouse gases in the two experiments were conducted using the chamber method + static base. The samples were analyzed by gas chromatography. To determine the concentration of total organic carbon (TOC), samples were collected up to 100 cm depth and analyzed by a carbon analyzer TOC-V. Emissions of nitrous oxide ( $N_2O$ ) were low in most of the period, with peak emission immediately after application of mineral N assessed for both sites, and always less the flow areas with pasture, compared to only coverage area. With regard to methane ( $CH_4$ ) the soil maintained a tendency to drain this gas during the evaluations, but was isolated emission peak after application of N associated with a higher moisture content. The contribution of waste to emission of  $N_2O$  and  $CH_4$  in integrated areas was high, showing that one should seek to better understand the contribution of waste to the total emission of the system. The concentration of carbon (C) was greater at the soil surface decreasing in depth. The C stock in the integrated systems was greater than that observed in the proprietary systems of farming. Integrated systems have the potential to mitigate the emission of greenhouse gases, by absorption of the soil, but worth pointing out that there is a contribution to the emission coming from the waste that needs to be further investigated.

**Key-words:** C sequestration, No-tillage, grazing, greenhouse gases

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo I

- Figura 1.** Precipitação média diária e temperatura média do ar, a partir de junho de 2010 até abril de 2011. Guarapuava 2010/2011.....29
- Figura 2.** Taxa de emissão de N<sub>2</sub>O em Plantio Direto, com doses de N (0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), com e sem pastejo, Guarapuava-PR.....30
- Figura 3.** Concentração de N inorgânico na forma de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (a) e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (b) no solo, em plantio direto, com doses de N (0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), com e sem pastejo, Guarapuava-PR.....32
- Figura 4.** Porosidade preenchida por água (PPA %) na camada de 0-5 cm do solo, em plantio direto, submetidos a doses de N (0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), com e sem pastejo, Guarapuava-PR.....35
- Figura 5.** Emissão acumulada de N<sub>2</sub>O do solo no período de junho de 2010 a abril de 2011, em função das doses de nitrogênio (a) e área com e sem pastejo (b). Guarapuava-PR. Barras não coincidentes diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.....36
- Figura 6.** Taxa de emissão de CH<sub>4</sub> em Plantio Direto, com doses de N (0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), com e sem pastejo, Guarapuava-PR.....37
- Figura 7.** Emissão acumulada de CH<sub>4</sub> do solo no período de Junho de 2010 a Abril de 2011, em função das doses de nitrogênio (a) e área com e sem pastejo (b). Guarapuava-PR. Barras não coincidentes diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.....39

### Capítulo II

- Figura 1.** Fluxo de N<sub>2</sub>O do solo submetido a sistemas de uso sob plantio direto no período de nov/2010 a jan/2012: LAV: (Lavoura); ILP: (Integração Lavoura-pecuária); ILPF: (Integração Lavoura-Pecuária Floresta). Ponta Grossa-PR. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa DMS ( $p < 0,05$ ).....53
- Figura 2.** Porosidade preenchida por água (PPA %) do solo submetido a sistemas de uso sob plantio direto no período de nov/2010 a jan/2012: LAV: (Lavoura); ILP: (Integração Lavoura-pecuária); ILPF: (Integração Lavoura-Pecuária Floresta). Ponta Grossa-PR.....54
- Figura 3.** Concentração de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a) e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> b) do solo submetido a sistemas de uso sob plantio direto no período de nov/2010 a jan/2012: LAV: (Lavoura); ILP: (Integração Lavoura-pecuária); ILPF: (Integração Lavoura-Pecuária Floresta). Ponta

Grossa-PR. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa DMS ( $p < 0,05$ ).....57

**Figura 4.** Emissão acumulada de  $N_2O$  do solo submetido a sistemas de uso sob plantio direto no período avaliado de 450 dias: (Lavoura); ILP: (Integração Lavoura-pecuária); ILPF: (Integração Lavoura-Pecuária Floresta). Ponta Grossa-PR. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa DMS ( $p < 0,05$ ).....59

**Figura 5.** Fluxo de  $CH_4$  do solo submetido a sistemas de uso sob plantio direto no período de nov/2010 a jan/2012: LAV: (Lavoura); ILP: (Integração Lavoura-pecuária); ILPF: (Integração Lavoura-Pecuária Floresta). Ponta Grossa-PR. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa DMS ( $p < 0,05$ ).....60

**Figura 6.** Emissão acumulada de  $CH_4$  do solo submetido a sistemas de uso sob plantio direto no período avaliado de 450 dias: LAV: (Lavoura); ILP: (Integração Lavoura-pecuária); ILPF: (Integração Lavoura-Pecuária Floresta). Ponta Grossa-PR. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa DMS ( $p < 0,05$ ).....62

**Figura 7.** Fluxo de  $N_2O$  do esterco e da urina de bovinos submetidos a sistemas de uso sob plantio direto: ILP: (Integração Lavoura-pecuária); ILPF: (Integração Lavoura-Pecuária Floresta). Ponta Grossa-PR.....63

**Figura 8.** Fluxo de  $CH_4$  do esterco e da urina de bovinos submetidos a sistemas de uso sob plantio direto: ILP: (Integração Lavoura-pecuária); ILPF: (Integração Lavoura-Pecuária Floresta). Ponta Grossa-PR.....64

**Figura 9.** Emissão total líquida de  $N_2O$  do solo mais a contribuição da urina dos animais do experimento, no período de avaliação de 450 dias. Ponta Grossa, PR.....66

**Figura 10.** Emissão total líquida de  $CH_4$  do solo mais a contribuição do esterco dos animais do experimento, no período de avaliação de 450 dias. Ponta Grossa, PR.....68

### Capítulo III

**Figura 1.** Concentração de carbono no solo, em sistemas de uso sob plantio direto. Ponta Grossa-PR. (LAV = Lavoura anual; ILP = Integração lavoura-pecuária; ILPF = Integração lavoura-pecuária floresta; CN = Campo nativo). Barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).....81

**Figura 2.** Estoque de carbono no solo na camada de 0-20 cm, em sistemas de uso sob plantio direto. Ponta Grossa-PR. (LAV = Lavoura anual; ILP = Integração lavoura-pecuária; ILPF = Integração lavoura-pecuária floresta; CN = Campo nativo). Médias

seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).....83

**Figura 3.** Densidade do solo até 100 cm de profundidade, em sistemas de uso sob plantio direto. Ponta Grossa-PR. (LAV = Lavoura anual; ILP = Integração lavoura-pecuária; ILPF = Integração lavoura-pecuária floresta; CN = Campo nativo).....85

**Figura 4.** Estoque de carbono no solo na camada de 0-100 cm de profundidade, em sistemas de uso sob plantio direto. Ponta Grossa-PR. (LAV = Lavoura anual; ILP = Integração lavoura-pecuária; ILPF = Integração lavoura-pecuária floresta; CN = Campo nativo). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).....86

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo I

**Tabela 1.** Caracterização química do solo (0-10 cm), antes do pastejo no ano de 2010, nos diferentes tratamentos com doses de N (0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), com e sem pastejo, Guarapuava-PR.....27

**Tabela 2.** Propriedades físicas na camada de (0-5 cm) em uma associação de Latossolo Bruno + Cambissolo Háptico, submetido a doses de N (0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), com e sem pastejo. Guarapuava-PR.....34

**Tabela 3.** Percentagem de N do fertilizante perdido na forma de N-N<sub>2</sub>O. CP (com pastejo), SP (sem pastejo). Guarapuava-PR.....36

### Capítulo II

**Tabela 1.** Quantidade de resíduos sobre o solo nos diferentes sistemas de uso do solo no momento da aplicação do N no milho.....55

**Tabela 2.** Fluxo total acumulado em 10 dias de óxido nítrico dos dejetos dos bovinos utilizados no experimento. Ponta Grossa-PR.....65

**Tabela 3.** Fluxo total acumulado em 10 dias de metano e fator de emissão dos dejetos de bovinos utilizados no experimento. Ponta Grossa-PR.....67

### Capítulo III

**Tabela 1.** Distribuição relativa (%) da massa de agregados do solo, agrupados em três classes de tamanho, em sistemas de uso sob plantio direto. Ponta Grossa-PR. (LAV = Lavoura anual; ILP = Integração lavoura-pecuária; ILPF = Integração lavoura-pecuária floresta; CN = Campo nativo).....87

## **LISTA DE SIGLAS**

**GEE – Gases de Efeito Estufa**

**CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono**

**N<sub>2</sub>O – Óxido nitroso**

**CH<sub>4</sub> – Metano**

**N – Nitrogênio**

**N<sub>2</sub> – Nitrogênio elementar**

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Nitrato**

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - Amônio**

**NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - Nitrito**

**COT – Carbono Orgânico Total**

**C – Carbono**

**PD – Plantio Direto**

**LAV – Lavoura anual**

**ILP – Integração Lavoura-Pecuária**

**ILPF – Integração Lavoura-Pecuária-Floresta**

**CN – Campo Nativo**

**PPA – Porosidade Preenchida por Água**

**CP – Com Pastejo**

**SP – Sem Pastejo**

**ppb – Parte por bilhão**

**ppm – Partes por milhão**

**mV – mili volt**

**Pg – Peta grama – 10.000.000.000.000.000g**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>15</b>
Hipóteses.....	20
Objetivo Geral.....	20
Objetivos Específicos.....	20
Referências Bibliográficas.....	21
<b>2. CAPÍTULO I. FLUXO DE ÓXIDO NITROSO E DE METANO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA COM DOSES DE NITROGÊNIO NA REGIÃO CENTRAL DO PARANÁ</b>	
Resumo.....	23
Abstract.....	23
Introdução.....	24
Material e Métodos.....	25
Resultados e Discussão.....	30
Conclusões.....	40
Referências Bibliográficas.....	40
<b>3. CAPÍTULO II. FLUXO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SISTEMAS DE USO DO SOLO ENVOLVENDO LAVOURA, PECUÁRIA E FLORESTA NOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ</b>	
Resumo.....	45
Abstract.....	45
Introdução.....	46
Material e Métodos.....	48
Resultados e Discussão.....	53
Conclusões.....	68
Referências Bibliográficas.....	69
<b>4. CAPÍTULO III. ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO NOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ</b>	
Resumo.....	75
Abstract.....	75
Introdução.....	76
Material e Métodos.....	78
Resultados e Discussão.....	80
Conclusões.....	88
Referências Bibliográficas.....	88
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>92</b>
<b>6. APÊNDICES.....</b>	<b>94</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O aumento na concentração na atmosfera dos principais Gases de Efeito Estufa (GEE), principalmente, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) se intensificou nas últimas décadas, despertando grande preocupação das autoridades e da população em geral. Esse aumento é devido principalmente a ações antropogênicas seja de forma direta, pelo aumento do uso de combustíveis fósseis, aumento da poluição industrial, aumento das queimadas, ou indiretamente pelo uso incorreto dos recursos naturais e também por sistemas agrícolas. Entre os GEE, estabeleceu-se que o  $\text{CO}_2$  possui um potencial de aquecimento global igual a 1, o  $\text{CH}_4$  de 23 e o  $\text{N}_2\text{O}$  de 296, em função das características moleculares e do tempo de permanência na atmosfera (IPCC, 2007).

Os países desenvolvidos contribuem para as emissões desde o início do século XX. O Brasil, no entanto, começou a ter contribuições importantes nas emissões a partir das décadas de 60 e 70 quando houve a revolução verde e o início dos desmatamentos. A concentração dos principais GEE na atmosfera passou, da era pré-industrial para as atuais, de 280 ppm para 366 ppm de  $\text{CO}_2$ , 0,8 ppb para 1,74 ppb de  $\text{CH}_4$  e 288 ppb para 311 ppb de  $\text{N}_2\text{O}$  (IPCC, 2007).

O uso de combustíveis fósseis, as queimadas e os sistemas agropecuários são responsáveis pela maior taxa de emissão de  $\text{CO}_2$ . Dentro do setor agrícola o  $\text{CO}_2$ , principalmente, em sistemas conservacionistas possui uma taxa de emissão líquida menor, quando comparado ao  $\text{N}_2\text{O}$  e ao  $\text{CH}_4$ , devido a maior ciclagem desse elemento no ambiente. As plantas absorvem o  $\text{CO}_2$  da atmosfera via fotossíntese e incorporam na forma de carbono orgânico no solo após sua decomposição. Sistemas de manejo com menor revolvimento do solo, juntamente com culturas que aportem resíduos em quantidade e qualidade diferenciados, através de materiais com relação C/N, diferentes,

aumentam os teores de matéria orgânica, podendo ser dreno de CO<sub>2</sub> da atmosfera (Lal et al., 2003; Bayer et al., 2006). Assim, o importante é quantificar o balanço de carbono no sistema, para verificar o potencial em absorver ou emitir esse gás para atmosfera.

Por outro lado, as emissões globais de N<sub>2</sub>O são oriundas principalmente das atividades antrópicas (Bouwman et al., 2010), com destaque para o setor agropecuário, com uma contribuição estimada em 70 % das emissões totais de N<sub>2</sub>O (IPCC, 2007). No Brasil a contribuição do setor agrícola para a emissão total de N<sub>2</sub>O é mais significativa, chegando a 94 % (Cerri e Cerri 2007). Dentre as atividades agrícolas destaca-se a deposição dos dejetos animais, como sendo uma das principais fontes de emissão de N<sub>2</sub>O, juntamente com as adubações nitrogenadas.

A emissão de N<sub>2</sub>O de solos agrícolas está fortemente ligada à aplicação de adubos nitrogenados (Moiser, 2002), os quais estão relacionados ao ciclo do N e a taxa de mineralização e oxidação da matéria orgânica. A emissão ocorre devido ao processo de nitrificação onde em ambientes aerados, bactérias quimioautotróficas oxidam o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> produzindo N<sub>2</sub>O (Bateman e Baggs, 2005). Num primeiro momento o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é oxidado a NO<sub>2</sub><sup>-</sup> por bactérias do gênero Nitrossomonas, e posteriormente a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por bactérias do gênero Nitrobacter. Mas a maior contribuição na emissão é decorrente da desnitrificação onde ocorre uma redução biológica do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> para NO<sub>2</sub><sup>-</sup> para formas gasosas (N<sub>2</sub>O, NO e N<sub>2</sub>), por bactérias anaeróbicas (Aita e Giacomini, 2007), as quais na presença de redutores orgânicos e disponibilidade de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ou NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e restrição de O<sub>2</sub> produzem N<sub>2</sub>O.

Com relação às emissões globais de CH<sub>4</sub>, essas são geralmente provenientes do uso de combustíveis fósseis, do tratamento de lixo e principalmente das atividades agropecuárias, com destaque para as contribuições do rebanho bovino e do cultivo do arroz irrigado (IPCC, 2007; Houghton et al., 2001).

No Brasil o setor que tem maior contribuição para a emissão de  $\text{CH}_4$  é o agropecuário, com cerca de 90 % da emissão total antrópica, sendo as principais fontes de emissão o cultivo de arroz irrigado, preparo intensivo do solo, fermentação entérica dos ruminantes e a deposição dos dejetos no solo (Cerri e Cerri, 2007).

O solo pode exercer papel de fonte ou dreno de  $\text{CH}_4$  para atmosfera, isso vai depender das suas condições físicas e químicas, que vão determinar a atividade das bactérias que controlam as emissões ou remoções de  $\text{CH}_4$  através dos processos de produção e oxidação (Ussiri et al., 2009). Com isso, as condições de aeração do solo tem grande influência para este ser fonte ou dreno para a atmosfera de  $\text{CH}_4$ . Segundo Hütsch (1998), a produção desse gás ocorre através de bactérias anaeróbicas pelo processo chamado de metanogênese. Essas bactérias necessitam potencial redox no mínimo de 200 mV e condição restrita de  $\text{O}_2$  no solo. Já a oxidação é feita por bactérias aeróbicas metanotróficas onde elas utilizam o  $\text{CH}_4$  como fonte de energia e carbono, dependendo do  $\text{O}_2$  no solo para sua oxidação. Diante disso o manejo que interfere nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo terá forte influência na atividade do  $\text{CH}_4$ .

Além do preparo do solo outro fator que influencia a oxidação do  $\text{CH}_4$  é a adubação nitrogenada, a qual afeta prontamente a oxidação do  $\text{CH}_4$  através da competição do íon  $\text{NH}_4^+$  com o  $\text{CH}_4$  pela enzima mono-oxygenase, sendo que após adubações nitrogenadas elevadas, ocorre no solo uma maior concentração e  $\text{NH}_4^+$  disponível, com isso, esse íon irá atuar como inibidor da oxidação de  $\text{CH}_4$  nos solos por competir pela enzima (Boeckx et al., 1997). Também segundo Hustch (1998) há uma interferência na oxidação do  $\text{CH}_4$  em longo prazo, pelo poder de acidificação do solo decorrente da adubação nitrogenada, a qual irá diminuir a capacidade de

estabelecimento das bactérias metanotróficas que são responsáveis pela oxidação no solo, diminuindo a capacidade do mesmo em absorver CH<sub>4</sub> no solo.

Entretanto, o setor agrícola, por depender do clima para que consiga obter melhores produções, está sentindo as mudanças ocasionadas pelo efeito estufa através das variações na temperatura e na precipitação, seja pelas estiagens prolongadas ou fora de épocas ou pelas chuvas intensas e concentradas em determinadas regiões. Com isso, buscam-se alternativas que tentem alcançar o equilíbrio entre maiores produções para atender a demanda de alimentos do planeta de forma mais sustentável, diminuindo a emissão GEE.

Nesse sentido, tem-se comparado sistemas de preparo do solo, como plantio direto e preparo convencional, na emissão de GEE, utilizando sistemas de produção isolados (Pavei, 2005; Gomes, 2006). No Sul do Brasil, porém, cresce a utilização de sistemas integrados de produção, com destaque para a integração lavoura-pecuária (ILP) e a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF).

Os sistemas integrados de produção buscam maximizar o uso da terra, diversificando a produção, minimizando custos e agregando valores aos produtos agropecuários, por meio dos recursos e benefícios que uma atividade proporciona à outra (Cassol, 2003; Moraes et al., 1998).

Dentre as vantagens da ILP está a capacidade de aumentar e armazenar C no solo e na biomassa vegetal das pastagens e das árvores, podendo com isso ser uma estratégia para melhorar os estoques de C e de N, refletindo em maiores taxas de sequestro de C (Salton et al., 2005).

No sistema de ILPF, além da pastagem e da lavoura de grãos é incluso mais uma cultura, as árvores. Com isso, além das vantagens já referidas para o sistema de ILP, são

incluídas outras no sistema ILPF como: melhor ambiência para os animais, maior ciclagem de nutrientes pelas raízes das árvores que exploram maiores profundidades, maior retorno econômico com a venda das árvores, dentre outras (Embrapa, 2011).

Mas, como esse sistema é mais recente poucos estudos existem até o momento referente à capacidade de sequestro de carbono e do potencial de mitigação dos GEE. A ILPF tem a capacidade de armazenar C no solo e na biomassa vegetal das pastagens e das árvores, podendo com isso, ser uma estratégia para aumentar os estoques de C e assim, diminuir a emissão de gases.

Dentro do ecossistema terrestre o solo possui o maior reservatório de carbono, variando entre 1200 a 1600 Pg (Bruce et al., 1999), essa dinâmica no solo é controlada pelo balanço entre a entrada, via fotossíntese, do CO<sub>2</sub> e sua saída via mineralização da MO. Diante disso as práticas culturais atuam de forma a conduzir o solo como fonte ou dreno de C-CO<sub>2</sub> para atmosfera (Lal et al., 1995). Sistemas agrícolas podem exercer um papel fundamental na mitigação dos GEE pela sua ação direta no balanço líquido entre as emissões e as remoções do solo, principalmente os sistemas integrados, por possuírem maiores aportes de resíduos e, conseqüentemente, de C principalmente nas raízes, atuando como dreno dos GEE.

## **Hipóteses**

A emissão de  $N_2O$  e  $CH_4$  oriundos do solo em sistemas integrados é menor do que em áreas exclusivas de lavoura, principalmente, pela maior eficiência na utilização do N promovido pelas raízes das pastagens, e no caso da ILPF das árvores, juntamente com a melhoria nas condições físicas de solo, reduzem as emissões desses gases.

Sistemas de ILP e ILPF sob plantio direto possuem maior estoque de carbono em comparação ao sistema unicamente de lavoura (num mesmo sistema de culturas), em função do maior aporte de fitomassa tanto na parte aérea como em profundidade, devido à contribuição das raízes das pastagens e das árvores.

## **Objetivo Geral**

Estudar as contribuições da ILP e da ILPF para a mitigação dos gases de efeito estufa, em áreas de clima sub tropical, na região Sul do Brasil.

## **Objetivos Específicos**

Avaliar as emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$  em áreas de integração lavoura-pecuária com doses de nitrogênio.

Avaliar as emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$  em sistema de uso do solo no inverno envolvendo integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária floresta;

Verificar a contribuição dos dejetos bovinos para a emissão de  $N_2O$  e  $CH_4$ .

Verificar o potencial de sistemas integrados de produção em acumular carbono orgânico no solo comparado a áreas de lavoura sob plantio direto.

## Referências Bibliográficas

- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira, Piracicaba, 2007. Anais. Piracicaba, IPNI Brasil, 722, 2007.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research*, 86:237–245, 2006.
- BATEMAN E.J. E BAGGS E.M. Contributions of nitrification and denitrification to N<sub>2</sub>O emissions from soils at different water-filled pore space. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, 41:379-388, 2005.
- BOECKX, P.; VAN C.; VILLARALVO, I. Methane oxidation in soils with different textures and land use. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 49:91-95, 1997.
- BOUWMAN, A. F.; STEHFEST, E.; VAN KESSEL, C. Nitrous oxide emissions from the nitrogen cycle in arable agriculture: Estimation and mitigation. In: Smith, K.A.(ed) Nitrous oxide and climate change. London: Earthscan; 85-106, 2010.
- BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; Lal, R. Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservations*, 5:382-389, 1999.
- CASSOL, L. C. Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. 2003. 143f. (Tese - Doutorado), Programa de pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Sequestro de carbono em solos na America Latina: Agricultura e aquecimento global. *Boletim Informativo SBCS*, 32:40-44, 2007.
- EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Integração lavoura-pecuária floresta. Janeiro de 2011. Disponível em <<http://www.cpa.embrapa.br:8080/embrapa/transferencia-de-tecnologia/vantagens-da-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-no-am-sao-apresentadas>> Acessado dia 20/02/2012.
- GOMES, J.; Emissão de Gases de Efeito Estufa e Mitigação do Potencial de Aquecimento Global por Sistemas Conservacionistas de Manejo do Solo, 2006. 129p. (Tese - Doutorado), Programa de pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- 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*, 28:27-35, 1998.
- IPCC. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland, IPCC, 104, 2007.
- LAL, R.; KIMBLE, J. M.; LEVINE, E.; WHITMAN, C. Word soil and greenhouse effect: An overview. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; LEVINE, E.; STEWART, B. A. (Eds) *Soils and global change*. Boca Raton: CRC Press, 1-7, 1995.
- LAL, R. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 22:151-184, 2003.
- MOISER, A. R. Environmental challenges associated with needed increases in global nitrogen fixation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Dordrecht, 63:101-116, 2002.
- MORAES, A. LESAMA, M. F.; ALVES, S. J. Lavoura-pecuária em sistemas integrados na pequena propriedade. In: *Encontro Latino Americano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade*, 3., 1998, Pato Branco. Anais. Pato Branco: CEFET-PR, 1998. CD-ROM.
- PAVEI, M. A. Decomposição de resíduos culturais e emissão de gases do efeito estufa em sistemas de manejo do solo em Ponta Grossa (PR), 2005. 114p. (Dissertação - Mestrado), Programa de pós-graduação em ecologia de agroecossistemas, Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2005.
- SALTON, J.C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical. 2005. 158p. (Tese - Doutorado), Programa de pós-graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2005.
- 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*, 2: 247-255, 2009.

## 2. CAPÍTULO I

### Fluxo de óxido nitroso e de metano em sistema de integração lavoura-pecuária com doses de nitrogênio na região central do Paraná

**Resumo** – O aumento da emissão de  $N_2O$  e  $CH_4$  no Brasil é devido principalmente as atividades ligadas ao setor agropecuário. Assim, buscam-se estratégias que aumentem a produção de forma mais sustentável possível, considerando a preservação do meio ambiente. O objetivo do trabalho foi avaliar fluxos de emissão de gases de efeito estufa a partir do solo em integração lavoura-pecuária com doses de nitrogênio e plantio direto no Sul do Brasil. O experimento foi conduzindo num Latossolo Bruno muito argiloso em Guarapuava, PR. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com parcelas sub divididas e três repetições. Os tratamentos foram: 0; 75 e 150 kg de N  $ha^{-1}$ , com e sem pastejo, por ovinos. As avaliações de emissão foram feitas utilizando um conjunto de câmara e base estática fechada. As amostras de ar foram analisadas por cromatografia gasosa. A emissão de  $N_2O$  se manteve constante entre os dias avaliados tendo picos de emissão isolados, sendo que o maior pico chegou a 816  $\mu g N m^{-2} h^{-1}$  no tratamento 150 N sem pastejo. No tratamento 0 de N a emissão ficou a baixo de 25  $\mu g N m^{-2} h^{-1}$  tanto no sistema com e sem pastejo. Com relação ao  $CH_4$  também manteve a mesma tendência, tendo dois picos isolados em função das concentrações de N no solo na forma de  $N-NH_4^+$  provenientes das adubações, atingindo valores próximos a 65  $\mu g N m^{-2} h^{-1}$ . As concentrações de N mineral e umidade do solo aumentaram as taxas de emissão de  $N_2O$  e  $CH_4$ . O sistema de ILP, sem considerar os dejetos pode ser uma alternativa para reduzir a emissão de  $N_2O$  e  $CH_4$  em sistemas agropecuários.

**Palavras-Chave:** Aquecimento global; adubação nitrogenada; plantio direto, pastejo.

**Abstract** - The increase in emissions of  $N_2O$  and  $CH_4$  in Brazil is mainly due to activities related to the agricultural sector. Thus, strategies that seek to increase the production of more sustainable way possible, considering the preservation of the environment. The objective of this study was to evaluate flows emission of greenhouse gases from the soil in crop-livestock integration with nitrogen and tillage in southern Brazil. The experiment was leading a very clayey Oxisol in Guarapuava-PR. The experimental design was randomized blocks with sub divided plots and three replicates. The treatments were 0, 75 and 150 kg N  $ha^{-1}$  with and without grazing by sheep. The evaluations were made using the issuing a set of static base chamber and closed. The air samples were analyzed by gas chromatography. The  $N_2O$  emission remained constant between days evaluated with isolated peaks of emission, and the highest peak reached 816  $\mu g N m^{-2} h^{-1}$  at 150 N ungrazed. 0 N in the treatment of the emission was to low of 25  $\mu g N m^{-2} h^{-1}$  in the system both with and without grazing. With respect to  $CH_4$  also maintained the same trend, with two isolated peaks in the concentrations of soil N in the form of  $NH_4^+-N$  from the fertilizer, reaching values close to 65  $\mu g N m^{-2} h^{-1}$ . The concentrations of mineral N and soil moisture increased emission rates of  $N_2O$  and  $CH_4$ . The ILP system, without considering the waste can be an alternative to reduce the emission of  $N_2O$  and  $CH_4$  in agricultural systems.

**Key words:** Global warming, nitrogen fertilization, No-tillage, grazing.

## Introdução

A emissão de gases de efeito estufa (GEE) vem sendo cada vez mais avaliada nos sistemas de produção agropecuários. A emissão dos três principais GEE, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O para atmosfera, se intensificou após a revolução industrial, principalmente N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, gerados pelas atividades antrópicas, bem como, através da agropecuária empregada de forma mais intensiva e reducionista, sem tomar o devido cuidado com os possíveis riscos ao meio ambiente.

É iminente a preocupação em aumentar a produção de alimentos, de forma qualitativa, a fim de atender a demanda de consumo da população mundial. Nesse sentido, buscam-se encontrar sistemas de uso do solo mais eficientes e sistemas que tenham capacidade de produzir mais alimentos (grãos, carne, fibra, leite, etc.) com menor impacto ao ambiente e com maior aceitação mundial.

Diante disso, algumas práticas agrícolas estão sendo implantadas com intuito de aperfeiçoar a produção agropecuária, com visão sustentável e que buscam a mitigação da emissão dos GEE. Dentre as alternativas, pode-se citar a Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Esse sistema de produção busca maximizar o uso da terra, da infraestrutura e da mão-de-obra, diversificar a produção, minimizar custos e os riscos e agregar valor aos produtos agropecuários, por meio dos recursos e benefícios que uma atividade proporciona à outra (Moraes et al., 1998; Carvalho et al., 2005).

Para tanto, as áreas de lavoura dão suporte à pecuária por meio da produção de alimento para o animal, seja na forma de grãos, silagem e feno, ou com o pastejo nas entressafras da lavoura. Isso aumenta a capacidade de suporte da propriedade, diminuindo o uso de insumos, aumentando a reciclagem de nutrientes, permitindo a venda de animais na entressafra e proporcionando melhor distribuição de receita durante o ano (Mello et al., 2004). Sistemas integrados de produção podem alcançar um nível de sinergia que lhes permitem ser considerados como sistemas de desenvolvimento sustentáveis (FAO, 2010). Na maior parte do Sul do Brasil a ILP praticada é aquela caracterizada pela utilização de aveia (*Avena* sp) e azevém (*Lolium multiflorum*) no inverno com soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*) ou feijão (*Phaseolus vulgaris*) no verão.

A produção vegetal é dependente da disponibilidade de nitrogênio às plantas, o que caracteriza melhores índices de rendimento de biomassa, devido ao maior

desenvolvimento ocorrido pela aplicação do N. Contudo, o uso de nitrogênio mineral aplicado no solo pode aumentar as emissões de GEE, principalmente na forma de  $N_2O$ . Após adubações nitrogenadas em solos agrícolas e pastagens, ocorre uma maior concentração de N mineral no solo, gerando com isso, maiores transformações de N pela atividade das bactérias nitrificadoras e desnitrificadoras, que são dependentes da umidade do solo. Segundo Conen et al. (2000), a quantidade de N mineral, juntamente com a umidade elevada no solo, controlam as taxas de emissão de  $N_2O$  em solos cultivados. No entanto, com concentrações menores de N mineral no solo ocorre uma concorrência pelo N do solo com a assimilação pelas plantas e com os microrganismos, diminuindo as perdas de  $N_2O$  (Mcswiney e Robertson, 2005).

São poucos os estudos no Brasil referindo-se ao potencial de aquecimento global (PAG) decorrentes dos sistemas de ILP, mesmo havendo crescente uso desse sistema de produção. Carvalho (2010) avaliando diferentes sistemas de uso do solo com ILP, culturas de grãos, e áreas nativas no cerrado Brasileiro, encontrou que o sistema ILP obteve os maiores valores de emissão de  $N_2O$ . Esses dados corroboram com os encontrados num Latossolo Bruno sob plantio direto nos campos gerais do Paraná, utilizado com ILP (Piva, 2010). Mas, no balanço final contabilizando o que foi acumulado de C no solo, menos o que foi emitido do solo de  $CH_4$  e  $N_2O$ , que a ILP pode ser uma opção para mitigação do GEE, principalmente, pela capacidade em acumular C no solo.

O sistema de ILP pode ser um dreno ou fonte de GEE, dependendo da prática de manejo animal e da pastagem adotada. Esse sistema possui maior sequestro de C, devido ao maior aporte de biomassa pelas raízes das espécies utilizadas e pelos benefícios citados acima que esse sistema oferece (Fujisaka et al., 1998; Lal, 2002), podendo ser uma ferramenta viável no balanço final da emissão e/ou remoção dos GEE da atmosfera.

O objetivo do trabalho foi avaliar a emissão de óxido nitroso e metano ( $N_2O$  e  $CH_4$ ) em um sistema de produção integrada com doses de nitrogênio em plantio direto.

## **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido no Centro de Desenvolvimento Educacional e Tecnológico de Guarapuava (CEDETEG), ligado a Universidade Estadual do Centro-

Oeste (UNICENTRO), em Guarapuava, PR, Brasil, localizada a 25° 33' Sul e 51° 29' Oeste, com altitude média de 1.095 m. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como Cfb (Maak, 1948), com a precipitação anual variando de 1.400 a 1.800 mm, sendo os meses de março e de abril os mais secos (Figura 1). O solo do experimento foi classificado como uma associação de Latossolo Bruno + Cambissolo háplico (Embrapa, 2006), de textura muito argilosa (624 g kg<sup>-1</sup> de argila, 311 g kg<sup>-1</sup> de silte e 80 g kg<sup>-1</sup> de areia).

O experimento foi instalado no inverno de 2006 e desde então vem sendo conduzido dentro do sistema de integração lavoura-pecuária. No período anterior a implantação, a área vinha sendo utilizada em sistema de plantio direto, sendo que no verão foi produzido milho para silagem após pousio no inverno. Desde a instalação da ILP, a área vem sendo utilizada com cultivo de aveia branca (*Avena sativa*), aveia preta comum (*Avena strigosa*) e azevém comum (*Lolium multiflorum*) no inverno e sucessão de milho e feijão para produção de grãos e feijão no período estival.

O delineamento experimental é o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas e três repetições. Nas parcelas principais são aplicados três doses de nitrogênio (0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup>), na forma de uréia (45% N) na pastagem e as subparcelas são com e sem pastejo, totalizando uma área de 2050 m<sup>2</sup> por parcela com pastejo.

Dentro de cada dose de nitrogênio foi isolada uma área de 102 m<sup>2</sup>, compreendendo a parcela sem pastejo. O restante foi pastejado com ovinos da raça Ile de France em lotação contínua, com taxa de lotação variável e mantida a altura média do dossel de plantas em 14 cm.

A semeadura da cultura de inverno foi feita no dia 28 de maio de 2010 em sistema de plantio direto com espaçamento de 17 cm. Nesse cultivo foi utilizado, na adubação de base, 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> na forma de super triplo, e 60 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> em cobertura na forma de cloreto de potássio. A quantidade de N foi aplicado em função dos tratamentos, no dia 23 de junho de 2010. A caracterização química do solo do experimento antes do pastejo está descrita na tabela 1.

O início do pastejo ocorreu no dia cinco de julho de 2010, sendo que os animais permaneceram na área até a primeira semana de novembro de 2010. Posterior, a retirada dos animais da área a pastagem foi dessecada utilizando 2,5 l ha<sup>-1</sup> de glifosate. Após

esse período foi realizada a semeadura do feijão (*Phaseolus vulgaris*), na última semana de novembro de 2010.

Para a cultura do feijão a adubação foi realizada com 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, sendo a fonte o superfosfato triplo e 90 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> sendo a fonte o cloreto de potássio. O nitrogênio não foi aplicado nas parcelas em avaliação. O controle das plantas daninhas, pragas e doenças foi efetuado durante todo o ciclo da cultura do feijão.

**Tabela 1.** Caracterização química do solo (0-10 cm), antes do pastejo no ano de 2010, nos diferentes tratamentos com doses de N (0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), com e sem pastejo, Guarapuava-PR.

	pH em (CaCl <sub>2</sub> )	M. O. g kg <sup>-1</sup>	P mg kg <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup> Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al	SB	CTC	Saturação de Bases (V%)	Saturação de Al (M%)
<b>0 N</b>												
CP	4,66	55,93	8,07	0,53	3,65	2,42	0,09	4,46	6,60	11,06	58,68	1,19
SP	4,86	50,11	9,65	0,29	3,35	2,52	0,00	4,62	6,15	10,77	57,09	0,00
<b>75 N</b>												
CP	4,50	53,70	6,08	0,48	3,67	2,45	0,21	4,82	6,60	11,42	57,80	3,13
SP	4,91	53,70	5,97	0,29	4,08	2,41	0,09	5,01	6,78	11,79	57,51	1,51
<b>150 N</b>												
CP	4,82	51,01	6,81	0,44	3,50	2,46	0,12	4,92	6,40	11,32	56,55	2,02
SP	4,62	52,80	6,87	0,31	3,23	2,16	0,09	5,46	5,70	11,16	51,28	1,55

### Avaliação da emissão de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> do solo

As avaliações da emissão dos GEE foram feitas no período que compreendeu um ano agrícola, de 14 de junho de 2010 até quatro de abril de 2011, compreendendo um ciclo da cultura de inverno (pastagem) e um ciclo da cultura de verão (feijão). Os intervalos de avaliação foram variáveis entre diários, semanais e quinzenais, conforme a proximidade com momentos de operações que foram considerados críticos para a emissão dos GEE, como: aplicação do fertilizante nitrogenado e entrada de animais na área (produção de esterco e urina). Exceto as épocas críticas, as demais avaliações foram realizadas quinzenalmente.

### Coleta das amostras de ar

Para a coleta das amostras de ar foi utilizada a metodologia descrita por Mosier (1989), sendo utilizado um conjunto de câmara e base estática fechada. Cada câmara é constituída de tubo de PVC (20 cm de altura x 25 cm de diâmetro) fechado na parte superior e assentado, somente durante as coletas, sobre uma base de metal previamente

introduzida no solo. A base de metal foi mantida na área durante todo o ciclo de avaliação.

Cada sessão de coleta teve início aproximadamente às 9:00 h, quando se assentava a câmara sobre a base de metal. Nesse momento também se coletava a primeira amostra de ar (tempo 0) de uma série de três. Para tanto, se utilizou uma seringa de polipropileno de 20 mL equipada com uma válvula de fechamento no orifício de saída. A segunda amostra (tempo 15) foi coletada 15 minutos após, utilizando-se o mesmo tipo de seringa, a partir de uma válvula situada no topo da câmara. A terceira (tempo 30) foi coletada aos 30 minutos, seguindo-se o mesmo procedimento para a amostra do tempo 15.

As seringas contendo as amostras de ar foram acondicionadas em recipiente de isopor contendo uma “bolsa gel” congelada a fim de manter a temperatura interna abaixo de 5 °C durante o transporte até o Laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

As análises das amostras de ar para a determinação das concentrações de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O foram efetuadas por cromatografia gasosa, num equipamento Shimadzu CG 2014 modelo “Greenhouse”, pertencente ao Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Para quantificar as perdas de N na forma de N<sub>2</sub>O provenientes do fertilizante aplicado, foi calculada a percentagem de N emitido oriundo das doses de N. Para o cálculo foi usado o valor acumulado da área adubada menos o valor acumulado da área não adubada dividido pela quantidade de N do fertilizante aplicado ao solo, expresso em percentagem.

### **N-Mineral e umidade do solo**

A porosidade preenchida com água (PPA) e a concentração de N inorgânico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) são importantes fatores que interferem na emissão de GEE, principalmente N<sub>2</sub>O e, portanto, também foram determinadas em cada evento de avaliação de emissão de gases.

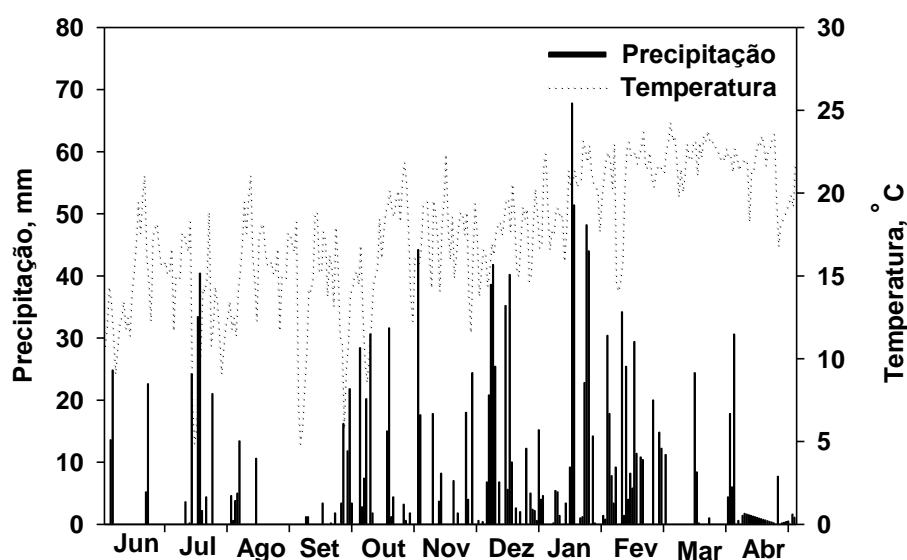
Para cada avaliação de emissão foi coletada uma amostra de solo na camada de 0-5 cm de profundidade, com o auxílio de um trado calador. Essa amostra foi composta de três sub amostras coletadas dentro da parcela. Para a PPA, inicialmente foi determinada

a densidade do solo e a porosidade total para a camada de 0-5 cm. Foram utilizadas as amostras coletadas em anéis volumétricos, que após sofrerem toailete foram saturadas em água por 12 horas e submetidas a tensões de 6 kPa, em mesa de tensão (EMBRAPA, 1997). Conhecendo-se a umidade volumétrica, densidade e a porosidade total das amostras coletadas foi possível determinar a PPA (%).

A determinação da concentração de N inorgânico ( $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$ ) foi efetuada pelo método semi-micro-Kjeldahl, conforme descrito por Tedesco et al. (1995).

### Variáveis meteorológicas

Dados de precipitação pluviométrica e temperaturas médias diárias do ar foram obtidos através de uma estação meteorológica situada ao lado do experimento no CEDETEG, da Universidade Estadual do Centro Oeste (Figura 1).



**Figura 1.** Precipitação média diária e temperatura média do ar, a partir de junho de 2010 até abril de 2011. Guarapuava 2010/2011.

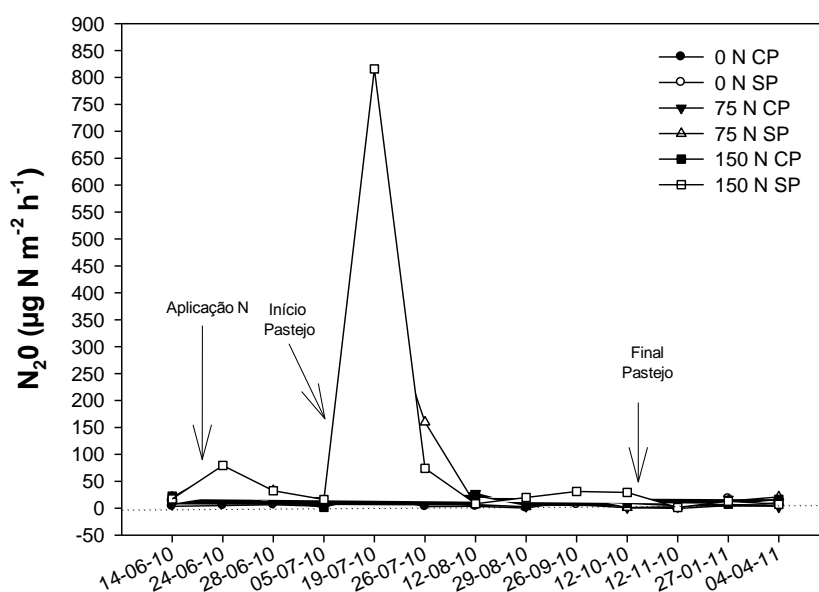
### Análises estatísticas

Os resultados da emissão acumulada de GEE dentro de cada tratamento foram submetidos à análise da variância, não tendo interação entre as variáveis com e sem pastejo e doses de N, prosseguiu-se com a comparação de médias entre os tratamentos, utilizando-se o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## Resultados e Discussão

### Fluxo de N<sub>2</sub>O

A taxa de emissão de N<sub>2</sub>O no sistema com pastejo no período de outono e inverno de 2010 manteve-se constante (Figura 2). Essa tendência de menores emissões nas áreas com pastejo no inverno pode estar associada a menor disponibilidade de N no sistema de ILP, devido ao histórico de utilização, a qual além de manter as características físicas do solo, também através do pastejo estimulou a maior utilização do N mineral pela pastagem. Ocorreram picos isolados de emissões, mas que foram de curta duração, menos de 10 dias, esses picos ocorreram cerca de 25 dias após a aplicação de N, e foram maiores nas doses maiores de N, todas nas áreas sem pastejo (Figura 2). Maiores taxas de emissão de N<sub>2</sub>O com aplicação de nitrogênio mineral variando entre 40 até 160 kg ha<sup>-1</sup> de N também foram observadas na região sul e sudeste do Brasil, aumentando a taxa de emissão conforme o aumento da dose de nitrogênio aplicado (Jantalia et al., 2008; Passionato et al., 2003).



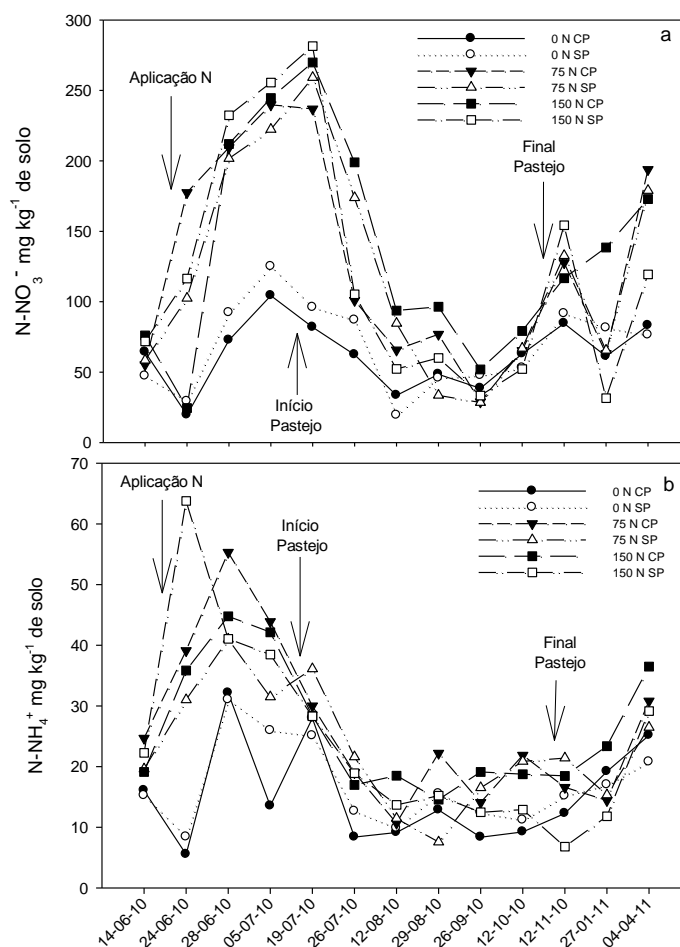
**Figura 2.** Taxa de emissão de N<sub>2</sub>O em Plantio Direto, com doses de N (0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), com e sem pastejo, Guarapuava-PR.

Na coleta do dia 19/07 ocorreu o maior pico de emissão de N<sub>2</sub>O, 816 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, no tratamento 150 N sem pastejo. A maior taxa de emissão nesse tratamento sem pastejo pode ter ocorrido devido ao maior acúmulo de matéria seca que, juntamente com

a maior concentração de N, ocasionaram um suposto efeito “priming”. Esse efeito é causado pela aplicação de N que estimulou o desenvolvimento da cultura, aumentando a produção de matéria seca, causando com isso, um favorecimento na mineralização do N da matéria orgânica, através do aumento da atividade microbiana após aplicação do nitrogênio mineral, o qual serviu de fonte de energia aos microrganismos (Jenkinson et al., 1985).

Nas áreas com pastejo, pode ter ocorrido uma maior eficiência de aproveitamento do N pela aveia, que segundo Neill et al. (1997), possui maior eficiência de utilização do N comparadas a lavouras e florestas, devido ao crescimento rápido e frequente, estimulado pelo pastejo dos animais. Juntamente com a menor quantidade de resíduos sobre o solo, proporcionaram uma concentração menor de N disponível nas áreas com pastejo (Figura 3), refletindo numa menor emissão de N<sub>2</sub>O. Os dados de emissão N<sub>2</sub>O da pastagem são confirmados por outros trabalhos realizados no Brasil comparando pastagens, lavoura e florestas, em que a emissão é menor nas áreas de pastagens (Neill et al., 1997; Verchot et al., 1999; Melillo et al., 2001).

Contudo, a quantidade de palhada sobre o solo em áreas de ILP sob plantio direto, pode ser reduzida ficando entre 2 a 3 t ha<sup>-1</sup>, sem causar problemas ao sistema. Vale ressaltar que, a quantidade total de massa seca produzida nos sistemas integrados é maior comparada a áreas somente de lavoura, chegando a valores próximos de 7 t ha<sup>-1</sup> em pastagens de aveia e azévem, mas devido ao pastejo, a quantidade de resíduos que fica sobre o solo no final do pastejo é menor (Cassol, 2003). Esses dados estão de acordo com os encontrados por Rios (2010), que avaliou a quantidade de resíduos sobre o solo nas áreas com e sem pastejo e obteve 6 t ha<sup>-1</sup> de massa seca nas áreas sem pastejo e 3 t ha<sup>-1</sup> nas áreas com pastejo. Outro aspecto importante que deve ser considerado, é que nas áreas sob ILP a grande contribuição no acúmulo de C e na melhoria nos atributos físicos do solo ocorre abaixo da superfície, através do sistema radicular das pastagens (Salton, 2005; Souza et al., 2008).



**Figura 3.** Concentração de N inorgânico na forma de  $\text{NO}_3^-$  (a) e  $\text{NH}_4^+$  (b) no solo, em plantio direto, com doses de N (0, 75 e 150  $\text{kg ha}^{-1}$  de N), com e sem pastejo, Guarapuava-PR.

As taxas de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  em pastagens e solos cultivados com culturas agrícolas depende da disponibilidade de nitrogênio inorgânico, principalmente, quando o  $\text{N-NO}_3^-$  é superior a  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo, associado a PPA superior a 60 % (Conen et al., 2000). Esse ambiente favorece ao processo de desnitrificação do N, sendo maior quanto maior for à umidade e a disponibilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  (Passionato et al., 2003; Melillo et al., 2001). O maior pico de emissão ocorreu após a aplicação de N na forma de uréia, associado a um período de maior precipitação (Figura 1) em meados de julho, proporcionando um ambiente com PPA superior a 80 % em todos os tratamentos (Figura 4), semelhante aos resultados encontrados por Khalil et al. (2002), que tiveram a

maior emissão de  $N_2O$  quando a PPA ficou superior a 70 %. Na figura (2) pode-se observar que as maiores emissões foram nas doses maiores de N, sendo que a aplicação de  $150 \text{ kg de N ha}^{-1}$  resultou no maior pico de emissão. Steudler et al. (2002), avaliando a emissão de  $N_2O$  em pastagens com adubação nitrogenada, obtiveram as maiores taxas de emissão de  $N_2O$  um dia após a aplicação de  $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$  e com alta umidade.

Contudo o que controlou a taxa de emissão de  $N_2O$  do solo para atmosfera entre áreas pastejadas e não pastejadas parece ser a demanda de N pela pastagem, que foi utilizada pelos ovinos, uma vez que, diferentemente do que é encontrado na literatura os valores de  $N-NO_3^-$  mantiveram-se na média perto dos  $90 \text{ mg kg}^{-1}$  muito superior aos  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  indicado como sendo a quantidade suficiente para que ocorra produção de  $N_2O$ . Sugerindo que em áreas com animais, existe uma maior utilização do N promovido pelo pastejo, o qual demanda mais N para o crescimento da planta, além de estimular o crescimento radicular, e com isso, favorece a maior absorção e ciclagem desse elemento no sistema. Rios (2010) encontrou que a liberação de N dos resíduos de azéveo é maior nas áreas sem pastejo comparada com as áreas com pastejo, sendo maior na dose de  $150 \text{ kg de N ha}^{-1}$ , e que a maior parte do N liberado pelos resíduos, não é aproveitado pela cultura seguinte. Isso mostra que em áreas sem pastejo ocorre uma menor demanda de N e que este pode ficar disponível no solo para ser perdido na forma de  $N_2O$  para atmosfera.

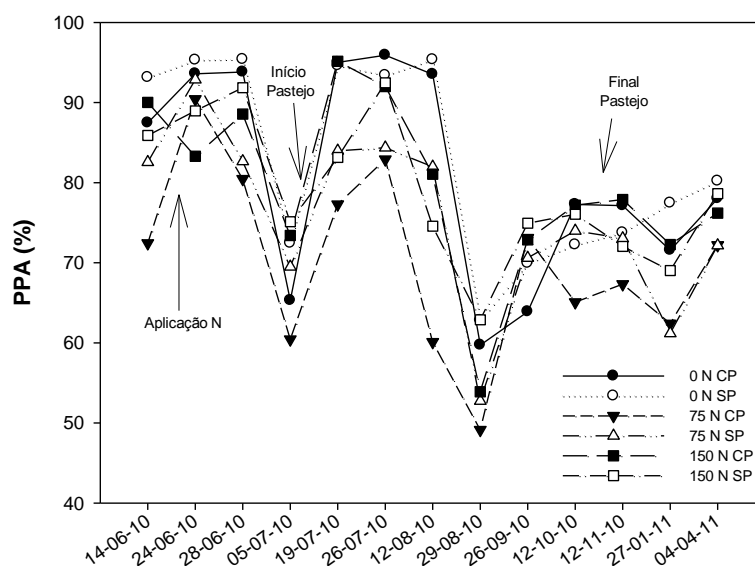
A menor emissão de  $N_2O$  nas áreas pastejadas pode também estar relacionada com as condições físicas do solo, as quais não apresentaram problemas por adensamento na camada superficial (Tabela 2). O pastejo estimula as raízes a se desenvolverem, fazendo com que elas cresçam mais, aumentando o estado de agregação do solo, atuando na formação de bioporos, com isso, melhorando a infiltração de água no solo. Isto mostra que, o sistema de ILP se corretamente manejado, possui a capacidade de manter ou melhorar as propriedades físicas do solo, principalmente pelo aumento de C em profundidade promovido pelas raízes das pastagens (Fujisaka et al., 1998), diminuindo assim, possíveis riscos de ambientes anaeróbicos ocorridos pelo adensamento, e que poderiam favorecer a formação de  $N_2O$  em períodos de alta umidade, pelo processo de desnitrificação.

**Tabela 2.** Propriedades físicas na camada de (0-5 cm) em uma associação de Latossolo Bruno + Cambissolo Háplico, submetido a doses de N (0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), com e sem pastejo. Guarapuava-PR.

	Ma	Mi	Pt	Ds
	.....%.....			g cm <sup>-3</sup>
	0 N			
Com Pastejo	11,36 <sup>ns</sup>	40,83 <sup>ns</sup>	57,37 <sup>ns</sup>	1,12 <sup>ns</sup>
Sem Pastejo	10,74	41,97	54,31	1,21
	75 N			
Com Pastejo	13,16	49,90	57,65	1,12
Sem Pastejo	12,73	51,42	56,54	1,15
	150 N			
Com Pastejo	13,54	40,07	56,34	1,16
Sem Pastejo	10,89	50,26	54,57	1,20

Ma = Macroporosidade; Mi = Microporosidade;  
Pt = Porosidade total; Ds = Densidade do solo  
ns = não significativo pelo teste de Tukey (p<0,05)

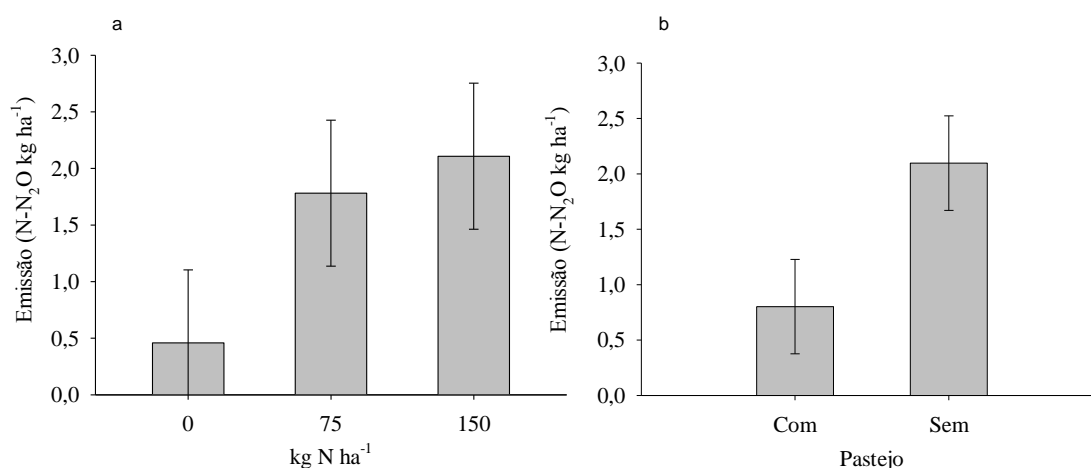
Cerca de 30 dias após a aplicação do N os valores da taxa de emissão de N<sub>2</sub>O diminuíram novamente, ficando praticamente nula a emissão em todos os tratamentos. Resultados semelhantes foram encontrados em outros trabalhos, onde foi observado picos de emissão significativos, mas que tiveram uma curta duração (Zanatta, 2009; Dobbie e Smith, 2003; Maggiotto et al., 2000). Alguns trabalhos mostram que mesmo com adição de N mineral, a emissão de N<sub>2</sub>O foi pequena, devido a menor umidade do solo (Nobre et al., 2001). Contudo, a PPA um mês após a aplicação de N encontrava-se alta (Figura 4), ficando abaixo de 75 % somente no final do ciclo de pastejo e também durante o verão com a cultura do feijão. Evidenciando com isso, que a desnitrificação foi o processo que teve maior contribuição na emissão de N<sub>2</sub>O logo após a aplicação de N, devido aos maiores valores de PPA e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo, e que o pico de concentração de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> logo após a aplicação de N (Figura 3), não teve grande contribuição para a emissão de N<sub>2</sub>O.



**Figura 4.** Porosidade preenchida por água (PPA %) na camada de 0-5 cm do solo, em plantio direto, submetidos a doses de N (0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), com e sem pastejo, Guarapuava-PR.

Após a 6ª coleta, aproximadamente 50 dias após a aplicação de N a emissão de N<sub>2</sub>O se manteve muito baixa, e seguiu esta tendência até a última coleta em abril de 2011.

Não houve interação entre as variáveis com e sem pastejo *versus* doses de N para emissão total acumulada de N<sub>2</sub>O. Os valores de emissão total acumulada foram maiores nas doses maiores de nitrogênio, tendo diferença significativa para o tratamento sem N. Da mesma forma ocorreu nas áreas sem pastejo, onde houve maior emissão acumulada de N<sub>2</sub>O (Figura 5a e Figura 5b). Os valores de emissão total de N<sub>2</sub>O foram de 0,45; 1,78 e 2,10 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente para as doses 0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N. Essa tendência também foi observada num experimento de campo conduzido na Rússia com diferentes culturas, onde a pastagem com aveia e leguminosa com adubação de nitrogênio teve uma emissão acumulada variando entre 2,27 a 2,98 kg de N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, maior do que a área em pousio sem aplicação de nitrogênio que teve uma emissão de 0,47 a 0,58 kg de N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (Buchkina et al., 2010).



**Figura 5.** Emissão acumulada de N<sub>2</sub>O do solo no período de junho de 2010 a abril de 2011, em função das doses de nitrogênio (a) e área com e sem pastejo (b). Guarapuava-PR. Barras não coincidentes diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A quantidade de nitrogênio do fertilizante aplicado no solo e perdido para atmosfera na forma de N<sub>2</sub>O nas diferentes doses é apresentada na tabela 3. As emissões de N<sub>2</sub>O induzidas pelo fertilizante foram maiores nas áreas sem pastejo comparadas a área com pastejo, sendo maior na dose de 75 do que na dose 150 kg de N ha<sup>-1</sup> na forma de uréia (Tabela 3).

**Tabela 3.** Percentagem de N do adubo perdido na forma de N-N<sub>2</sub>O, submetido a doses de N (75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), com e sem pastejo. Guarapuava-PR.

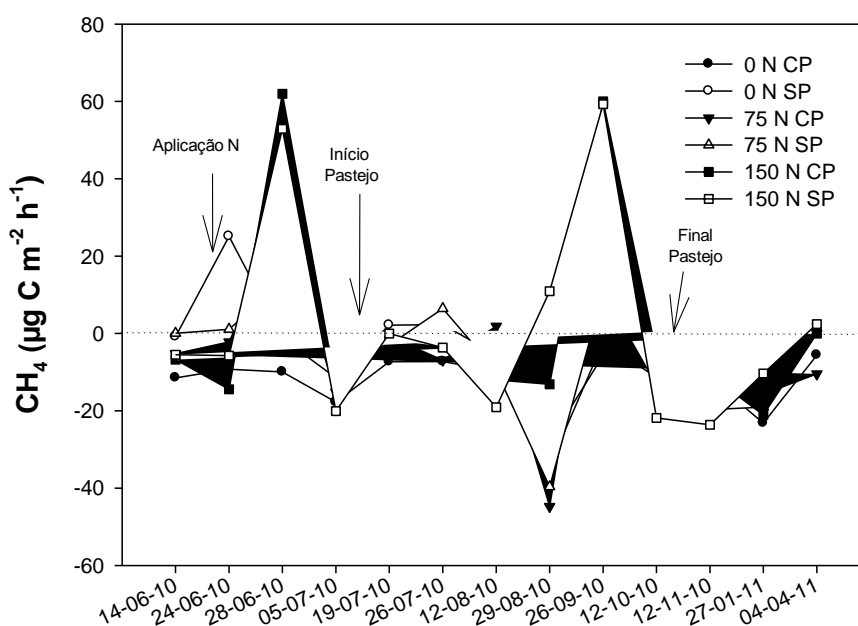
	kg N ha <sup>-1</sup>	
	75	150
	% de N do adubo emitido como N <sub>2</sub> O	
CP	1,05	0,47
SP	2,47	1,72

A percentagem de N do adubo perdida na forma de N<sub>2</sub>O foi de 1,05 e 0,47 % nas doses 75 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup> respectivamente, na área com pastejo. Na área sem pastejo a percentagem emitida do adubo foi maior chegando a 2,47 e 1,72 % para as doses 75 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Os valores de N perdido para atmosfera na forma de N<sub>2</sub>O do adubo aplicado estão acima dos observados em outras condições semelhantes de clima e solo no Brasil os quais variaram de 0,01 a 0,6 % do N aplicado (Madari, et al., 2007; Jantalia et al., 2008; Zuchello, 2010). Os maiores valores observados nesse estudo foram influenciados pela alta porosidade preenchida por água, a qual determinou a maior emissão de N<sub>2</sub>O pela formação de ambientes anaeróbicos.

#### Fluxo de CH<sub>4</sub>

Com relação às taxas de emissão de CH<sub>4</sub> ocorreram dois picos para atmosfera (Figura 6). O fluxo variou de 66,99 a -44,73  $\mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , esses valores ficaram muito próximos ao encontrado na região Sul do Brasil, onde a taxa de emissão variou de 62 a -40  $\mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  (Gomes, 2006).



**Figura 6.** Taxa de emissão de CH<sub>4</sub> em Plantio Direto, com doses de N (0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), com e sem pastejo, Guarapuava-PR.

Na coleta do dia 28/06 os tratamentos que receberam 150 e 75 kg ha<sup>-1</sup> de N foram fonte de CH<sub>4</sub>, sendo maior na área com pastejo e na dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N comparada à área sem pastejo (Figura 6). Esse pico de emissão de CH<sub>4</sub> na terceira coleta pode estar associado às valores de PPA % que ficaram acima de 80% em todos os

tratamentos, associado aos valores de N inorgânico que estavam altos (Figura 3), devido à adubação mineral de N, a qual foi feita cinco dias antes dessa data. Esses dados corroboram com Zanatta et al. (2010) e Hutsch (1998), que verificaram uma diminuição do fluxo de CH<sub>4</sub> entre cinco e sete dias após a aplicação do N.

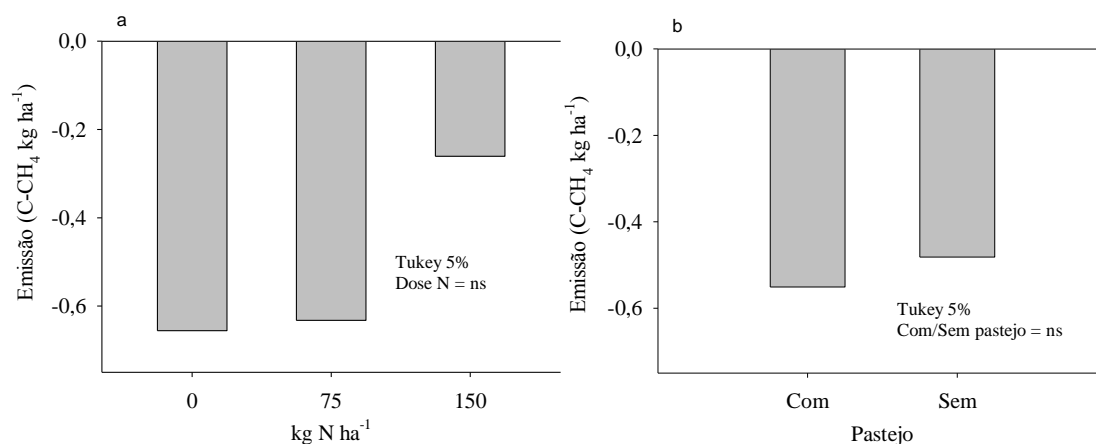
A dinâmica do CH<sub>4</sub> nos solos agrícolas é definida, em função das alterações na comunidade de bactérias específicas (metanogênicas ou metanotróficas) que podem ser fonte ou dreno de CH<sub>4</sub> da atmosfera, respectivamente (Hutsch, 1998). As operações de manejo, condições de umidade e teor de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> são o que mais influenciam essa dinâmica (Smith et al., 2003). Esses fatores podem explicar o maior valor de emissão encontrado no experimento na terceira coleta, uma semana após a aplicação do N. Após a aplicação nitrogenada ocorre uma diminuição da oxidação do CH<sub>4</sub> no solo, devido à competição do íon NH<sub>4</sub><sup>+</sup> com o CH<sub>4</sub> pelas enzimas mono-oxigenase (Reay e Nedwell, 2004; Boeckx et al., 1997). Esses resultados foram confirmados por Zanatta et al. (2010) que avaliaram o fluxo de CH<sub>4</sub> em solos do Sul do Brasil com diferentes fontes de N, encontraram maiores variações de CH<sub>4</sub> até uma semana após o N e diminuíram consideravelmente na sequência. Em condições de clima temperado na Europa foi encontrada diferença na emissão de CH<sub>4</sub> entre sistemas de uso do solo com culturas de grãos e pastagem, tendendo a ser maior na pastagem devido à maior disponibilidade de N no solo (Merino et al., 2004).

Após a terceira coleta todos os tratamentos mantiveram uma tendência de dreno de CH<sub>4</sub> da atmosfera, até o dia 29/08, durante quase todo o ciclo da pastagem. Nesse dia o tratamento 150 N SP foi fonte de CH<sub>4</sub>, enquanto os demais tratamentos tiveram comportamento contrário drenando maiores quantidades de CH<sub>4</sub> para o solo. Outro pico de emissão de CH<sub>4</sub> ocorreu na coleta do dia 26/09, onde o tratamento 150 kg ha<sup>-1</sup> de N tanto na área de pastejo como na área sem pastejo foram fontes de CH<sub>4</sub> com uma taxa de emissão de 60 µg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, seguidos pela dose de 75 kg de N ha<sup>-1</sup> com e sem pastejo, mas com taxas menores de emissão (Figura 6). Esses resultados também foram encontrados para outras condições de clima e solo onde ocorreram menores taxas de absorção de CH<sub>4</sub> comparadas a áreas naturais (Ojima et al., 1993).

Durante o desenvolvimento da cultura do feijão o solo foi dreno de CH<sub>4</sub> da atmosfera até o final das avaliações. Esse comportamento mostra que a variação no fluxo de CH<sub>4</sub> é fortemente influenciada por condições de umidade do solo e teor de N-

inorgânico. Os valores de PPA% nesse período foram menores (Figura 3), o que pode ter diminuído as condições para o desenvolvimento de bactérias metanogênicas que produzem  $\text{CH}_4$ .

A emissão acumulada de  $\text{CH}_4$  não apresentou interação entre as doses de N e com e sem pastejo (Figura 7). Analisando os tratamentos separadamente não se observou diferença significativa entre as doses de N pelo teste Tukey a 5% (Figura 7 a), também não ocorreu diferença significativa na área com pastejo comparada com a área sem pastejo (Figura 7 b).



**Figura 7.** Emissão acumulada de  $\text{CH}_4$  do solo no período de junho de 2010 a abril de 2011, em função das doses de nitrogênio (a) e área com e sem pastejo (b). Guarapuava-PR. Barras não coincidentes diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A emissão total acumulada de C- $\text{CH}_4$  foi negativa, tendo uma absorção desse gás no solo. O maior influxo para o solo foi no tratamento sem N, diminuindo conforme aumentava a dose aplicada de N, variando de -0,6560, -0,6323 e -0,2608, respectivamente para as doses de 0, 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 7a). Esses dados estão de acordo com os encontrados por Zanatta et al. (2010) que avaliando a emissão de  $\text{CH}_4$  no Sul do Brasil encontraram uma emissão acumulada 60% superior em área adubada com N, comparada a testemunha, aumentando a emissão linearmente conforme a concentração de N na forma de  $\text{NH}_4^+$  aumentava.

Outra fonte de emissão de GEE nas áreas de ILP que não foi avaliada refere-se à contribuição dos dejetos dos animais (esterco e urina) para emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$ ,

sendo uma fonte importante para fechar o balanço final dos gases, por isso deve ser melhor estudado em investigações futuras, para que se consiga verificar qual a real contribuição do sistema integrado no potencial de aquecimento global (PAG), em diferentes regiões do Brasil.

### **Conclusões**

1. As taxas de emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$  do solo aumentaram com o aumento da concentração de N-inorgânico e da PPA.

2. A emissão total acumulada de  $N_2O$  do solo é maior nas áreas sem pastejo, comparadas as áreas com pastejo, sem contabilizar os dejetos.

3. A emissão total acumulada de C- $CH_4$  do solo foi negativa, tendo uma absorção desse gás no solo. O maior influxo para o solo foi no tratamento sem N, diminuindo conforme aumentava-se a dose aplicada de N.

4. A grande variabilidade no fluxo e/ou efluxo de  $N_2O$  e  $CH_4$  do solo, durante o período avaliado, destaca a importância de serem feitas avaliações futuras em longo prazo.

### **Referências Bibliográficas**

BOECKX, P.; VAN C.; VILLARALVO, I. Methane oxidation in soils with different textures and land use. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 49:91-95, 1997.

BUCHKINA, N. P.; BALASHOV, E. V.; RIZHIYA, E. Y.; SMITH, K. A. Nitrous oxide emissions from a light-textured arable soil of North-Western Russia: effects of crops, fertilizers, manures and climate parameters. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 87:429-442, 2010.

CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; TREIN, C.R.; FLORES, J.P.C.; CEPIK, C.T.C.; LEVIEN, R.; LOPES, M.T.; BAGGIO, C.; LANG, C. R.; SULC, R.M.; PELISSAR, A. O estado da arte em integração lavoura e pecuária. In: ciclo de palestras em produção e manejo de bovinos, 10., 2005, Porto Alegre. Anais... Canoas: ULBRA, p.7-44, 2005.

CARVALHO, J. L. N. Dinâmica do carbono e fluxo de gases de efeito estufa em sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia e no Cerrado. 2010. 141 p. (Tese - Doutorado), Programa de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2010.

- CASSOL, L. C. Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. 2003. 143f. (Tese - Doutorado), Programa de pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- CONEN, F.; DOBBIE, K.E.; SMITH, K. A. Predicting N<sub>2</sub>O emission from agricultural land through related soil parameters. *Glob Change Biol*, 6:417–426, 2000.
- DOBBIE, K. E.; SMITH, K. A. Impact of diferente forms of N fertilizer on N<sub>2</sub>O emissions from intensive grassland. *Nutrient cycling in Agroecosystems Heidelberg*, v. 67, n. 1, p. 37-46, 2003.
- EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212p, 1997.
- EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Brasília, Embrapa Produção de Informação, 306p, 2006.
- FAO, Sete Lagoas “Consensus” on Integrated Crop-Livestock Systems for Sustainable Development. Plant Production and Protection Division Consultation Documents. 2010. Disponível em: [www.fao.org/agriculture/crops/corethemes/spi/iclsd/outcome](http://www.fao.org/agriculture/crops/corethemes/spi/iclsd/outcome), acessado dia 20/11/2011.
- FUJISAKA, S.; CASTILLA, C.; ESCOBAR, G.; RODRIGUES, V.; VENEKLAAS, E. J.; THOMAS, R.; FISHER, M. The effects of forest conversion on annual crops and pasture: Estimates of carbon emissions and plant species loss in Brazilian Amazon colony. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 69:17-26, 1998.
- GOMES, J.; Emissão de Gases de Efeito Estufa e Mitigação do Potencial de Aquecimento Global por Sistemas Conservacionistas de Manejo do Solo, 2006. 129p. (Tese - Doutorado), Programa de pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- 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*, 28:27-35, 1998.
- JANTALIA C.P.; 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. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 82:161-173, 2008.
- 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*, 36: 425-444, 1985.

- KHALIL, M.I.; ROSENANI, A.B.; van CLEEMPUT, O.; BOECKX, P.; SHAMAHUDDIN, J.; FAUZIAH, C.I. Nitrous oxide production from an Ultisol of the humid tropics treated with different nitrogen sources and moisture regimes. *Biology and fertility of soils*, 36:59-65, 2002.
- LAL, R.; Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environmental pollution*, Oxford, 16:353-362, 2002.
- MAACK, R. Notas preliminares sobre clima, solos e vegetação do Estado do Paraná. Curitiba, Arquivos de Biologia e Tecnologia. 2:102-200, 1948.
- MADARI, B. E.; COSTA, A. R. da; JANTALIA, C. P.; MACHADO, P. L. O. de A.; CUNHA, M. B. da; MARTINS, D. R.; SANTOS, J. H. G. dos; ALVES, B. J. R. Fator de emissão de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) para a fertilização com N na cultura do feijoeiro comum irrigado no Cerrado. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado técnico, 144). 4 p. 2007.
- MAGGIOTTO, S.R.; WEBB, J.A.; WAGNER-RIDDLE, C.; THURTELL, G.W. Nitrous and nitrogen oxide emissions from turfgrass receiving different forms of nitrogen fertilizer. *Journal. Environment. Quality*, 29:621-630, 2000.
- MCSWINEY C.P.; ROBERTSON G.P. Non-linear response of N<sub>2</sub>O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (*Zea mays*) cropping system. *Glob Chang Biol* 11:1712-1719, 2005.
- MELILLO, J.M.; STEUDLER, P.A.; FEIGL, B.J.; NEILL, C.; GARCIA, D.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.; TIAN, H. Nitrous oxide emissions from forests and pasture of various ages in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research*, 106:179-188, 2001.
- MELLO, L. M. M.; YANO, E. H.; NARIMATSU, K. C. P.; TAKAHASHI, C. M.; BORGHI, E. Integração agricultura-pecuária em plantio direto: produção de Forragem e resíduo de palha após pastejo. *Engenharia Agrícola*, 24:121-129, 2004.
- MERINO, A.; BATALLON-PERÉZ, P.; MACIAS, F. Responses of soil organic matter and greenhouse gas fluxes to soil management and land use changes in a humid temperate region of southern Europe. *Soil Biol. Biochemical*, 36:917-925, 2004.
- MORAES, A. LESAMA, M. F.; ALVES, S. J. Lavoura-pecuária em sistemas integrados na pequena propriedade. In: Encontro Latino Americano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade, 3., 1998, Pato Branco. Anais. Pato Branco: CEFET-PR, 1998. CD-ROM.
- MOSIER, A. R. Chamber and isotope techniques. In: ANDREAE, M.O.; SCHIMEL, D.S., ed. Exchange of traces gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop. Berlin, Wiley, 175-187, 1989.

- NEILL, C.; GARCIA-MONTIEL, D.C.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.; STEUDLER, P.A.; MELILLO, J.M.; BRITO, M. Net nitrogen mineralization rates in soils following deforestation for pasture across the southwestern Brazilian Amazon Basin Landscape. *Oecologia*, 110:243-252, 1997.
- NOBRE, A.D.; KELLER, M.; CRILL, P.M.; HARRIS, R.C. Short-term nitrous oxide profile dynamics and emissions response to water, nitrogen and carbon additions in two tropical soils. *Biology and fertility of soils*, 34:363-373, 2001.
- OJIMA, D.S., VALENTINE, D.W., MOSIER, A.R., PARTON, W.J., SCHIMEL, D.S., Effect of land use change on methane oxidation in temperate forest and grassland soils. *Chemosphere*, 26:675-685, 1993.
- PASSIANOTO, C.C.; AHRENS, T.; FEIGL, B.J.; STEUDLER, P.A.; CARMO, J.B.; MELILLO, J.M. Emissions of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, and NO in conventional and no-till management practices in Rondônia, Brazil. *Biology and fertility of soils*, 38:200-208, 2003.
- PIVA, J. T. Emissão de óxido nitroso e metano em um Latossolo bruno submetido a sistemas de preparo e integração lavoura pecuária. 2010. 57 p. (Dissertação - Mestrado), Programa de pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2010.
- REAY, D.S.; NEDWELL, D.B. Methane oxidation in temperate soils: effects of inorganic N. *Soil Biol. Biochemical*, 36:2059-2065, 2004.
- RIOS, E. M. Pastejo e adubação nitrogenada na qualidade biológica e estrutural em Latossolo bruno sob sistema de integração lavoura-pecuária. 2010. 124 p. (Tese - Doutorado), Programa de pós-graduação em Produção vegetal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2010.
- SALTON, J. C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical. 2005. 158p. (Tese - Doutorado), Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2005.
- SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; LIMA, C.V.S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E.J.; CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistemas de integração agricultura-pecuária submetidos a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1273-1282, 2008.
- 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*, 54:779-791, 2003.
- STEUDLER, P.A.; GARCIA-MONTIEL, D.C.; PICCOLO, M.C.; NEILL, C.; MELILLO, J.M.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. Trace gas responses of tropical

forest and pasture soils to N and P fertilization. *Global Biogeochemical Cycles*, 16:1029-1033, 2002.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)

VERCHOT, L.V.; DAVIDSON, E.A.; CATTÂNIO, J.H.; ACKERMAN, I.L.; ERICKSON, H.E.; KELLER, M. Land use change and biogeochemical controls of nitrogen emissions from soil in eastern Amazon. *Global Biogeochemical Cycles*, 13:31-46, 1999.

ZANATTA, J. A., BAYER, C., VIEIRA, F. C. B., GOMES, J.; TOMAZI, M. Nitrous oxide and methane fluxes in South Brazilian Gleysol as affected by nitrogen fertilizers. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1653-1665, 2010.

ZANATTA, J.A. Emissões de óxido nitroso afetadas por sistemas de manejo de solo e fontes de nitrogênio. 2009, 92p. (Tese - Doutorado), Programa de pós-graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2009.

ZUCHELLO, F. Emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar em campos dos Goytacazes-Rj. 2010. 42p. (Dissertação - Mestrado), Programa de pós-graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Serropédica, 2010.

### 3. CAPÍTULO II

#### Fluxo de gases de efeito estufa em sistemas de uso do solo envolvendo lavoura, pecuária e floresta nos campos gerais do Paraná

**Resumo** – O fluxo de gases de efeito estufa é o principal fator que controla a dinâmica do aquecimento global, o qual é oriundo do excesso de gases que são lançados na atmosfera por diversas fontes. A agricultura pode ser fonte ou dreno desses gases, dependendo de como ela é praticada. Com isso, o objetivo deste trabalho é estudar as contribuições dos sistemas integrados (ILP e ILPF) para o fluxo ou influxo dos gases de efeito estufa do solo e dos dejetos, comparado as áreas de lavoura, em clima sub tropical, na região Sul do Brasil. O experimento foi conduzindo na Fazenda Modelo do IAPAR em Ponta Grossa, PR. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de três sistemas de uso do solo: (LAV) lavoura, (ILP) integração lavoura-pecuária, (ILPF) integração lavoura-pecuária floresta. As avaliações dos gases foram feitas utilizando o método da câmara + base estáticas. As amostras foram analisadas por cromatografia gasosa. As emissões de  $N_2O$  foram sempre baixas tendo picos de emissão após aplicação do N mineral, tanto na pastagem como na cultura de grãos. A LAV teve o maior pico de emissão próximo de  $70 \mu g N m^{-2} h^{-1}$ , seguido pelo ILP e ILPF. A emissão total acumulada do solo foi maior na LAV com  $2 kg de N-N_2O ha^{-1}$ , a ILP com  $1,2 kg de N-N_2O ha^{-1}$  e a ILPF com  $0,6 kg de N-N_2O ha^{-1}$ . Com relação ao  $CH_4$  o solo manteve uma tendência de dreno desse gás ao longo das avaliações, tendo ocorrido picos isolados somente após a aplicação de N e com teor de umidade elevada, tendo um pico de  $78, 44 e 17 \mu g N m^{-2} h^{-1}$  nos sistemas lavoura, ILP e ILPF respectivamente, após a aplicação de N na aveia e  $69, 43 e 24 \mu g N m^{-2} h^{-1}$  após a aplicação de N na cultura do milho. A contribuição dos dejetos para emissão de  $N_2O$  e  $CH_4$  das áreas em sistemas integrados foi alta, em que a emissão total de  $N_2O$  do solo mais a emissão dos dejetos foram de  $2,18 kg de N-N_2O ha^{-1}$  no sistema lavoura,  $1,3 kg de N-N_2O ha^{-1}$  no sistema ILP e  $0,55 kg de N-N_2O ha^{-1}$  no ILPF, já o  $CH_4$  apresentou um influxo no sistema lavoura,  $-1,1 kg de C-CH_4 ha^{-1}$ , no sistema ILP e ILPF a emissão foi de  $0,82 e 1,13 kg de C-CH_4 ha^{-1}$  respectivamente. Sistemas integrados apresentam alto potencial para mitigar a emissão de gases de efeito estufa, através do maior acumulo de C no solo, mas vale salientar que existe a contribuição para a emissão, oriunda dos dejetos, que precisa ser melhor estudada.

**Palavras-Chave:** Plantio direto, dejetos de animais, gases de efeito estufa, sistemas integrados.

**Abstract** – The flow of greenhouse gases is the main factor controlling the dynamics of global warming, which comes from the excess gases that are emitted by various sources. Agriculture can be a source or sink of greenhouse gases, depending on how it is practiced. Thus, the objective of this work is to study the contributions of integrated systems (ILP and ILPF) to flow or influx of greenhouse gases from soil and manure, compared to a crop in sub-tropical climate in southern Brazil. The experiment was driving at the Model Farm IAPAR in Ponta Grossa, PR. The experimental design was randomized blocks with three replications. The treatments consisted of three systems of

land use: (CROP) crop, (CLI) crop-livestock integration, (FCLI) forest crop-livestock integration. The assessments were made using the gas chamber method based + static. The samples were analyzed by gas chromatography. The N<sub>2</sub>O were always having low emission peaks after application of mineral N in both the pasture as grain crop. The CROP had the highest emission peak around 70  $\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , followed by the CLI and FCLI. The total emission accumulated soil was higher in the CROP with 2 kg of N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup>, CLI with 1,2 kg of N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> and FCLI ha to 0,6 kg of N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup>. With respect to the ground CH<sub>4</sub> maintained a tendency to drain this gas during the evaluations, and single peaks occurred only after the application N and high moisture content, having a peak 78, 44 and 17  $\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  in crop systems, CLI and FCLI respectively, after application of N in oats and 69, 43 and 24  $\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  after N application in corn. The contribution of waste to emission of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> in integrated areas was high, in which the total emission of N<sub>2</sub>O soil over the issue of waste was 2,18 kg N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> crop in the system, a 3 kg N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> system CLI and 0,55 kg of N- N<sub>2</sub>O h<sup>-1</sup> in the FCLI, CH<sub>4</sub> presented as a crop input to the system, -1,1 kg CH<sub>4</sub>-C ha<sup>-1</sup> CLI, FCLI system and the emission was 0,82 and 1,13 kg CH<sub>4</sub>-C ha<sup>-1</sup> respectively. Integrated systems have high potential to mitigate the emission of greenhouse gases through the greater accumulation of soil C, but it should be noted that there is a contribution to the emission coming from the waste that needs to be further investigated.

**Key words:** No-tillage, animal waste, greenhouse gases, integrated systems.

## Introdução

O fluxo de gases de efeito estufa (GEE) é o principal fator que controla a dinâmica do aquecimento global, o qual é oriundo do excesso de gases que são lançados na atmosfera por diversas fontes. A alta concentração de gases na atmosfera faz com que diminua a passagem da luz infravermelha de ondas curtas, oriunda do reflexo da luz solar na superfície terrestre, com isso, gera-se um excesso de calor na atmosfera causando o aquecimento do planeta.

Os três principais gases causadores do efeito estufa são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). As principais fontes de emissões desses gases, em níveis globais, são a agricultura, que junto com a mudança no uso da terra, contribui com 22% das emissões de CO<sub>2</sub>, 43% das emissões de CH<sub>4</sub> e 85% das emissões de N<sub>2</sub>O (Olivier et al., 2006; IPCC, 2007). No entanto, no Brasil as emissões derivadas do setor agropecuário contribuem com 75% das emissões de CO<sub>2</sub>, 91% das emissões de CH<sub>4</sub> e 94% das emissões de N<sub>2</sub>O (Cerri e Cerri, 2007).

Dentre as atividades agrícolas as que mais contribuem para as emissões de GEE, estão aquelas que alteram a dinâmica do carbono (C) e do nitrogênio (N) no solo, como por exemplo, o uso e o manejo inadequado, com preparo intensivo, baixo aporte de

resíduos, e adubação mineral com nitrogênio, juntamente com a deposição dos dejetos pelos animais (MCT, 2010). Assim, o solo torna-se peça fundamental, dependendo das atividades empregadas, para atuar como fonte ou dreno do C atmosférico (Lal et al., 1999) e com isso, podendo mitigar as emissões de gases de efeito estufa (Paustian et al., 2000; Cerri et al., 2007).

Assim, devem-se priorizar sistemas de produções que aumentem os estoques de C e N no solo, e que promovam uma melhoria na qualidade física, química e biológica do solo. Entre os sistemas de uso e manejo do solo, destacam-se os sistemas integrados de produção, integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária floresta (ILPF) sob plantio direto.

A implantação e utilização desses sistemas integrados tem por finalidade utilizar de forma mais intensiva possível a terra, a infra-estrutura e a mão-de-obra, diversificando a produção, minimizando os custos e os possíveis riscos relacionados ao cultivo de uma única cultura (Cassol, 2003; Moraes et al., 1998).

No entanto, não se tem muitos estudos no Brasil, referindo-se ao fluxo de gases em áreas de integração lavoura-pecuária e principalmente, integração lavoura-pecuária floresta, mesmo havendo um acréscimo nesses sistemas nos últimos anos no Sul do Brasil.

Os sistemas de integração (ILP e ILPF) podem ser um grande dreno ou fonte de GEE, dependendo da prática de manejo animal e de pastagem adotada. Esses sistemas possuem uma maior capacidade de sequestro de C-CO<sub>2</sub>, devido ao maior aporte de biomassa pelas raízes das espécies utilizadas e pelos benefícios gerados ao solo (Lal, 2002; Fujisaka et al., 1998). Por isso, tanto o manejo da pastagem como o manejo animal, pode interferir na dinâmica de C no sistema, além, de modificar as condições físicas, químicas e biológicas (Cassol, 2003).

Contudo, os sistemas integrados de produção especialmente com bovinos, tem uma parcela significativa de contribuição na emissão de gases, através da fermentação entérica, a qual contribui com mais de 65 % da emissão de CH<sub>4</sub> do setor agropecuário Brasileiro (Lima et al., 2006). Além da contribuição direta dos animais pela fermentação entérica, também deve-se ressaltar a contribuição de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> oriundos dos dejetos (Primavesi et al., 2004; IPCC 2007).

Dentro dos sistemas de produção integrados, a ILPF vem ganhando destaque, por oferecer várias vantagens ao sistema como: melhor ambiência para os animais, maior ciclagem de nutrientes pelas raízes das árvores que exploram maiores profundidades, retorno econômico com a venda das árvores, dentre outros (Embrapa, 2011). Os sistemas de ILPF são implantados de acordo com as culturas que compõe o sistema. A implantação tem critérios técnicos como, por exemplo, espaçamento entre plantas e entre linhas em função as espécies, orientação das linhas em função do sol, tipo de maquinário que será usado, quais animais irão compor o sistema. Com isso, todos esses fatores têm influencia direta na implantação do sistema ILPF.

Mas, como esse sistema é mais recente, poucos estudos existem até o momento referentes à capacidade de sequestro de carbono e principalmente com relação a dinâmica do fluxo de GEE em ILPF. Assim, o objetivo deste trabalho é estudar as contribuições dos sistemas integrados (ILP e ILPF) para o fluxo ou influxo dos gases de efeito estufa do solo e dos dejetos, comparado as áreas de lavoura, em clima sub tropical, na região Sul do Brasil.

## **Material e Métodos**

O trabalho foi conduzido num experimento de campo iniciado em 2006, situado na área pertencente à Fazenda Modelo do IAPAR em Ponta Grossa, PR, região fisiográfica do segundo planalto paranaense numa altitude de 973 m coordenadas 25° 07' 23,6" S e 50° 02' 53,9 W. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa (Maak, 1948). A precipitação média anual de 1500 mm. O solo é classificado como associação Latossolo Bruno + Cambissolo Háptico (Embrapa, 2006), com uma textura franca arenosa, sendo 250 g kg<sup>-1</sup>, 650 g kg<sup>-1</sup> e 100 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para argila, areia e silte.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com três repetições, com uma área total do experimento de 12,9 ha. Os tratamentos consistiram em três diferentes sistemas de uso do solo:

Lavoura: No inverno foi semeada aveia preta (*Avena strigosa*) servindo de cobertura morta para o plantio direto, não sendo realizado nenhum tipo de trato cultural, somente a dessecação para a semeadura da cultura de verão. No verão foi cultivado a cultura da soja (*Glycine max*) em plantio direto no ano agrícola de 2010/2011 e o milho

(*Zea mays*) no ano de 2011/2012, as culturas foram implantadas e conduzidas seguindo as recomendações técnicas da região.

ILP: Integração lavoura-pecuária, onde no inverno animais da raça purunã pastavam a cultura da aveia. A pastagem era mantida a uma altura média de 20 cm, dentro dos preceitos de manejo correto da pastagem. Para isso, a área era pastada por 3 animais testes e um regulador, para conseguir manter a altura da pastagem. No verão foi cultivado a cultura da soja (*Glycine max*) em plantio direto no ano agrícola de 2010/2011 e o milho (*Zea mays*) no ano de 2011/2012, as culturas foram implantadas e conduzidas seguindo as recomendações técnicas da região.

ILPF: Integração lavoura-pecuária floresta, tratamento igual ao ILP, porém essa área é intercalada com fileiras de árvores dispostas 3 m entre plantas e 14 m entre fileiras. As espécies de árvores utilizadas no experimento foram: eucalipto (*Eucalyptus spp*) *dunnii*, aroeira (*Schinus molle spp*) e grevilea (*Grevillea robusta*). No verão foi cultivado a cultura da soja (*Glycine max*) em plantio direto no ano agrícola 2010/2011 e o milho (*Zea mays*) no ano de 2011/2012, as culturas foram implantadas e conduzidas seguindo as recomendações técnicas da região.

Na cultura da soja no ano agrícola 2010/2011 foi feita a recomendação e adubação seguindo as orientações técnicas da região, com o final do ciclo e colheita realizada no mês de fevereiro de 2011. Em abril de 2011 foi implantada a cultura da aveia, seguindo as recomendações técnicas para a cultura da aveia. No dia 16-05-2011 foi realizada a aplicação de 90 kg de nitrogênio (N) ha<sup>-1</sup> na forma de uréia em uma única aplicação a lanço. A cultura do milho foi implantada em novembro de 2011, sendo feita a aplicação de 200 kg de N ha<sup>-1</sup> na forma de uréia a lanço em uma única aplicação.

As avaliações da emissão de GEE contemplaram dois anos agrícolas das culturas de grãos e um ciclo de pastejo e foram realizadas entre os dias 07-11-2010 e o dia 24-01-12. Os intervalos de avaliação foram variáveis entre diários, semanais e quinzenais, isso foi determinado em função, da proximidade com momentos de operações de implantação e manejo que foram consideradas críticas para a emissão de GEE, como a aplicação de fertilizante nitrogenado e entrada de animais na área (produção de esterco e urina). Fora dessas épocas críticas, as avaliações foram feitas quinzenalmente.

As avaliações de emissão de gases foram feitas de acordo com a metodologia descrita por Mosier (1989), sendo utilizado um conjunto de câmara e base estática fechada. Cada câmara foi constituída de um balde, (35 cm de altura x 33 cm de diâmetro) fechado na parte superior e assentado, somente durante as coletas, sobre uma base de metal previamente introduzida no solo. A base de metal foi mantida na microparcela durante todo o ciclo de avaliação, sendo retirada somente nos momentos de implantação das culturas, e posteriormente introduzida novamente no mesmo local. No interior da câmara é acoplado um ventilador, acionado por uma bateria, para homogeneizar o ar no momento da coleta da amostra, com o objetivo de homogeneizar as amostras de ar no interior da câmara.

Cada sessão de coleta teve início às 9:00 h, quando se assentava a câmara sobre a base de metal. Nesse momento também se coletava a primeira amostra de ar (tempo 0) de uma série de três. Para tanto se utilizava uma seringa de polipropileno de 20 mL equipada com uma válvula de fechamento no orifício de saída. A segunda amostra (tempo 15) era coletada 15 minutos após, utilizando-se o mesmo tipo de seringa, a partir de uma válvula situada no topo da câmara. A terceira e última amostra era coletada aos 30 minutos após, seguindo-se o mesmo procedimento para a amostra do tempo 15.

As seringas contendo as amostras de ar foram acondicionadas em recipiente de isopor contendo uma “bolsa gel” congelada a fim de manter a temperatura interna abaixo de 5 °C durante o transporte até o Laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Porto Alegre-RS).

As análises das amostras de ar para a determinação das concentrações de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O foi efetuada por cromatografia gasosa, num equipamento Shimadzu CG 2014 modelo “Greenhouse”, pertencente ao Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Porto Alegre-RS).

### **Avaliação de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> dos dejetos**

Para avaliar a emissão dos GEE oriundos dos dejetos nas áreas de integração, foi realizada a avaliação da taxa de emissão dos dejetos (esterco e urina) produzidos pelos animais do experimento. Foram alocadas em cada parcela de estudo mais quatro bases, sendo que em duas dessas bases foram aplicados esterco e em outras duas a urina.

O esterco e a urina aplicados foram coletados dos próprios animais no momento da pesagem na mangueira. Após coletados, os dejetos foram imediatamente medidos e aplicados dentro da área das bases, as quais já tinham sido previamente alocadas nas parcelas de integração, tentando simular a deposição dos animais.

Foi aplicado 0,8 L de urina por base, a qual correspondia a uma urinada média dos animais. Também foram aplicados 1,2 kg de esterco por base, correspondente a uma estercada média dos animais da área, os dados de produção de dejetos estão de acordo com os encontrados em outros trabalhos (Matthews e Sollenberger, 1996; Haynes e Williams, 1993)

A avaliação do fluxo de gases dos dejetos seguiu o mesmo procedimento descrito acima para o solo. Sendo que a avaliação iniciou um dia após a aplicação dos dejetos, dia 09-09-11 e foi até o dia 21-10-11.

Para quantificar a contribuição dos dejetos gerados pelos animais do experimento para a emissão de N<sub>2</sub>O foi utilizado a equação (1), adaptada de Chiavegato (2010), sendo que o fator de emissão dos animais que pertenciam à área foi calculado nesse estudo.

$$\text{Emissões de N}_2\text{O} = \text{N}^\circ \times \text{FE} \qquad \text{Equação (1)}$$

Onde:

Emissões de N<sub>2</sub>O = estimativas de emissões, em kg N-N<sub>2</sub>O

Nº animais = número de animais da área

FE = fator de emissão dos dejetos depositados no solo pelos animais, em kg N-N<sub>2</sub>O

Para o cálculo do fator de emissão de N<sub>2</sub>O foram considerados alguns valores de referência (Matthews e Sollenberger, 1996). Um animal adulto urina de 8 a 12 vezes por dia, foi utilizado o valor de 10 vezes como sendo um valor médio de urinadas. A emissão líquida acumulada de N<sub>2</sub>O no período de 10 dias vezes o número de dias que os animais ficaram na área (120 dias). Assim, foi determinado o valor de N<sub>2</sub>O dos dejetos no período de estudo.

Para determinação do fator de emissão foi calculado quanto de N foi aplicado via urina através da análise de N da urina dos animais. Assim, determinou-se quanto de N foi aportado ao solo via urina por animal por dia. Com a informação da quantidade de N<sub>2</sub>O emitido da urina, mais a quantidade de N que entrou no solo pela urina pode-se calcular o fator de emissão de N<sub>2</sub>O.

A determinação da emissão de CH<sub>4</sub> proveniente dos dejetos foi feita através da equação (2).

$$\text{Emissões de CH}_4 = \text{N}^\circ \times \text{FE} \qquad \text{Equação (2)}$$

Onde:

Emissões de CH<sub>4</sub> = estimativas de emissões, em kg C-CH<sub>4</sub>

Nº animais = número de animais da área

FE = fator de emissão dos dejetos depositados no solo pelos animais, em kg C-CH<sub>4</sub>

Para quantificar a contribuição do esterco e da urina para a emissão de CH<sub>4</sub> em sistemas integrados, foi calculado o fator de emissão, levando em consideração alguns valores de referência retirados de (Matthews e Sollenberger, 1996). Os animais usados na área, com idade de 8-10 meses produzem em média 1,2 kg de esterco e cada animal esterca entre 10 a 14 vezes por dia. O período total de pastejo foi de 120 dias.

A quantidade de N na urina e no esterco dos animais foi determinada no laboratório de solos da UTFPR, Pato Branco. A urina apresentou 5,4 g N L<sup>-1</sup>, e a concentração de N no esterco foi 2,57 %.

Para quantificar a quantidade de N que entrou no sistema devido à urina dos animais, foi feito o cálculo com base na concentração de N da urina, quantas urinadas por dia e o tempo de pastejo dos animais no experimento.

### **Atributos de solo**

A umidade do solo, porosidade preenchida com água (PPA) e a concentração de N inorgânico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) são três importantes fatores que interferem na emissão de GEE, principalmente no N<sub>2</sub>O, e, portanto, também foram determinadas em cada evento de avaliação de emissão.

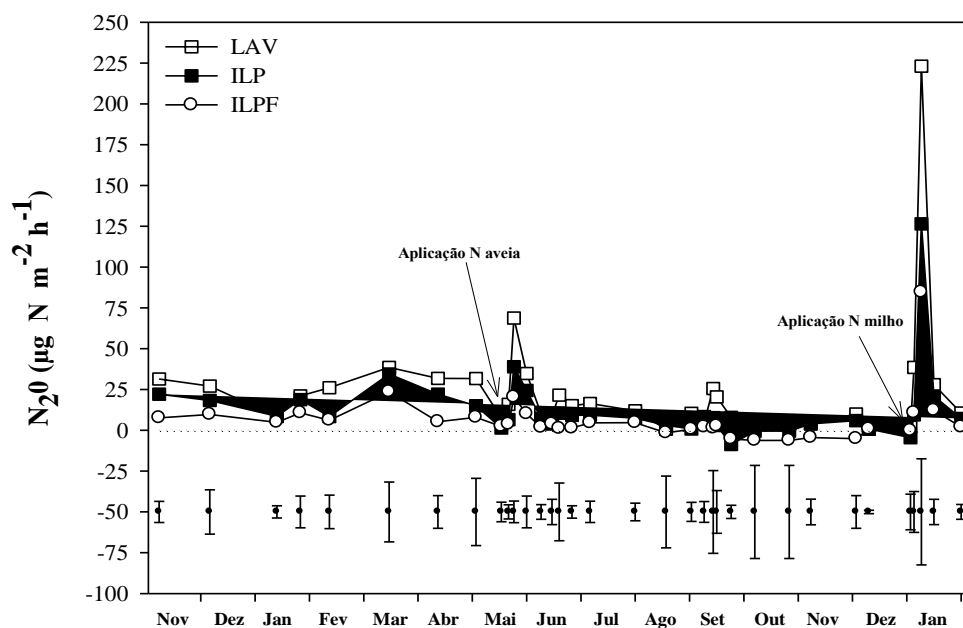
Para a determinação desses fatores em cada dia avaliação, foi realizada uma coleta de solo na camada de 0-5 cm com o auxílio de um trado calador, tirando três sub amostras para formar uma amostra composta, em cada tratamento. Para determinação da umidade as amostras foram pesadas e posteriormente secadas em estufa a 105 °C para retirada da água. Com relação ao N-inorgânico, parte da amostra foi preparada e analisada pelo método semi-micro-Kjeldahl, conforme descrito por Tedesco et al. (1995) e os valores corrigidos pela umidade do solo.

## Análises estatísticas

Os resultados dos efluxos de GEE, dentro de cada tratamento foram submetidos à análise da variância, para comparação das médias entre os tratamentos foi aplicado o teste DMS ( $p < 0,05$ ).

## Resultados e Discussão

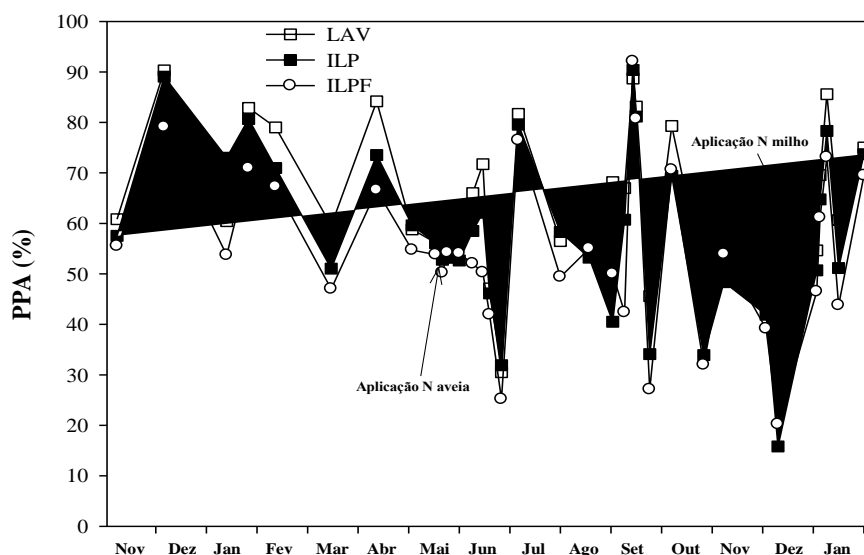
A taxa de emissão de  $N_2O$  durante o período avaliado apresentou uma tendência de maiores emissões no sistema lavoura comparado aos sistemas integrados de produção. Durante o ciclo da cultura da soja, que compreende da primeira até oitava colheita, o fluxo de  $N_2O$  entre os tratamentos não apresentou grande variação, com uma taxa de emissão abaixo dos  $30 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$  (Figura 1). Esses resultados estão próximo aos observados em outros trabalhos, em condições semelhantes de clima e solo (Piva, 2010; Siqueira Neto et al., 2009).



**Figura 1.** Fluxo de  $N_2O$  do solo submetido a sistemas de uso sob plantio direto no período de nov/2010 a jan/2012: LAV: (Lavoura); ILP: (Integração Lavoura-pecuária); ILPF: (Integração Lavoura-Pecuária Floresta). Ponta Grossa-PR. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa DMS ( $p < 0,05$ ).

O fluxo de  $N_2O$  durante o outono de 2011 se manteve baixo, tendo um pico de emissão no dia 22-05-11 cerca de seis dias após a aplicação de  $90 \text{ kg de N ha}^{-1}$ . A emissão de  $N_2O$  entre os sistemas de uso do solo seguiu a mesma tendência observada anteriormente, com maior emissão no sistema LAV seguido do sistema ILP e ILPF com valores de  $68,80$ ,  $38,95$  e  $20,29 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , respectivamente (Figura 1).

Cerca de 15 dias após este pico de emissão os valores de  $N_2O$  se encontravam baixos novamente e sem grandes variações entre os tratamentos. Os maiores fluxos de  $N_2O$  observados no sistema LAV podem estar relacionados com os valores de PPA superiores a 50 % (Figura 2), associados às maiores concentração de  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$  nesse sistema (Figuras 3a e 3b, respectivamente), proporcionando um ambiente mais favorável a produção de  $N_2O$ . Abassi e Adams (2000) avaliando o fluxo de  $N_2O$  com diferentes valores de PPA e aplicação de  $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$ , encontraram correlação positiva entre a PPA e a concentração de N-mineral no solo na forma de  $NO_3^-$ , mostrando que a desnitrificação é o principal mecanismo que controla a produção de  $N_2O$ . Esses dados são comprovados em outro estudo, onde a produção de  $N_2O$  em solos sob pastagens foi maior com teores de N na forma de  $NO_3^-$  e PPA superior a 63% (Velthof et al., 1997).



**Figura 2.** Porosidade preenchida por água (PPA %) do solo submetido a sistemas de uso sob plantio direto no período de nov/2010 a jan/2012: LAV: (Lavoura); ILP:

(Integração Lavoura-pecuária); ILPF: (Integração Lavoura-Pecuária Floresta). Ponta Grossa-PR.

Durante o restante do ciclo da pastagem no inverno de 2011 a emissão de  $N_2O$  se manteve muito baixa com valores próximos aos encontrados no campo nativo da região, abaixo de  $15 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ , sem grandes variações ente os tratamentos.

Outro pico de emissão de  $N_2O$  ocorreu na cultura do milho, no verão de 2011, após a aplicação de  $200 \text{ kg de N ha}^{-1}$  (Figura 1). A maior taxa de emissão nesse pico ocorreu para o tratamento LAV chegando a valores próximos de  $223 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$  cerca de seis dias após a aplicação do N, seguido do ILP com  $126, 51 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$  e ILPF  $84,63 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ . Evidenciando que a contribuição do adubo nitrogenado é significativa, mas pontual, com uma curta duração na taxa de emissão, sendo essa emissão dependente da PPA e das condições físicas do solo.

O fator que determinou maiores taxas de emissão de  $N_2O$  para atmosfera independente do sistema de uso foi à aplicação do N mineral. Tanto na cultura da aveia no inverno de 2011 como no milho no verão de 2011/2012 a adubação nitrogenada foi preponderante para a emissão de  $N_2O$ . Dentre os fatores que melhor se correlacionam com a emissão de  $N_2O$  nos solos agrícolas, estão à porosidade preenchida por água e o conteúdo de N-inorgânico (Dobbie e Smith, 2001).

Com relação à emissão entre os sistemas de uso do solo, a PPA pode estar controlando essa maior emissão no sistema LAV (Figura 1), em função do maior acúmulo de massa seca da cultura de inverno que ficou sobre o solo, a qual chegou a  $6.749 \text{ kg MS ha}^{-1}$ , duas vezes maior do que foi observado nos tratamentos ILP e ILPF (Tabela 1). Cassol (2003) confirma esses dados, encontrado valores semelhantes de produção acumulada de massa seca em área sem pastejo  $6.100 \text{ kg ha}^{-1}$ .

**Tabela 1.** Quantidade de resíduos sobre o solo nos sistemas de uso sob plantio direto, no momento da aplicação do N no milho.

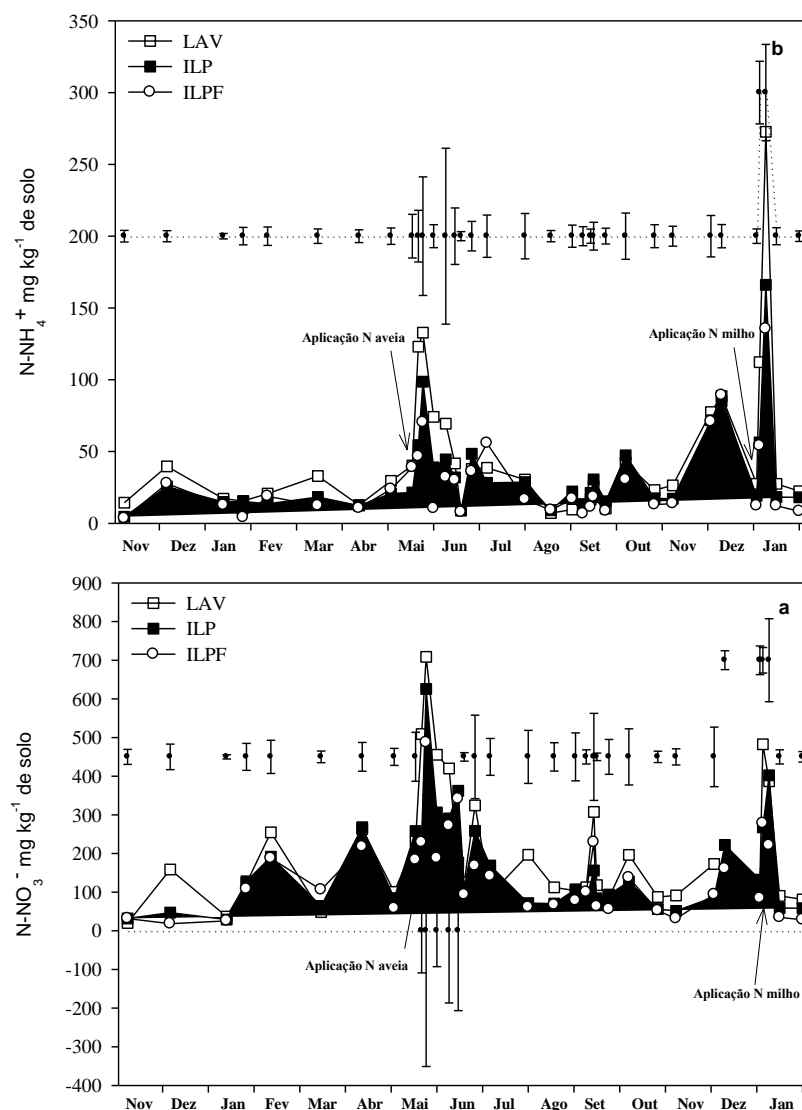
Sistemas	kg MS ha <sup>-1</sup>
LAV	6.749 a
ILP	3.725 b
ILPF	3.102 b
CV (%)	16,27

As médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Essa quantidade de matéria seca sobre o solo é oriunda do acúmulo de resíduos da cultura da aveia, e do azevém, que se desenvolveu na área por ressemeadura natural. Com essa cobertura permanente ocorreu uma diminuição na perda de água por evaporação, aumentando a PPA, e criando condições mais propícias para a perda de  $N_2O$  por desnitrificação (Dobbie e Smith, 2001; Mosier et al., 1998; Velthof et., 1997).

Cabe salientar, que a avaliação da quantidade de resíduos sobre o solo ocorreu no momento antes do plantio do milho, sendo, portanto pontual e que a produção de massa seca acumulada nas áreas com pastejo são maiores, comparadas as áreas sem pastejo (Cassol, 2003), sendo maiores à medida que a intensidade de pastejo aumenta, principalmente abaixo do solo, pelo aumento da massa de raízes (Souza et al., 2008), assim, as pastagens em sistemas integrados possuem maior dinâmica de crescimento, devido ao corte e rebrote estimulado pelo pastejo.

Além, dos maiores valores de PPA no sistema LAV, também pode ter ocorrido uma maior mineralização do N da matéria orgânica, devido a um estímulo causado aos microrganismos pela maior concentração de N-inorgânico (Jenkinson et al., 1985), provocando maior atividade desses microrganismos, e com isso, aumentando a quantidade de N na forma de  $NO_3^-$  e  $NH_4^+$  no solo (Figuras 3a e 3b, respectivamente), essa maior concentração de N-mineral disponível no solo associado à PPA refletiu em maiores emissões de  $N_2O$  para atmosfera no sistema LAV.



**Figura 3.** Concentração de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a) e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> b) do solo submetido a sistemas de uso sob plantio direto no período de nov/2010 a jan/2012: LAV: (Lavoura); ILP: (Integração Lavoura-pecuária); ILPF: (Integração Lavoura-Pecuária Floresta). Ponta Grossa-PR. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa DMS ( $p < 0,05$ ).

A menor taxa de emissão de N<sub>2</sub>O dos sistemas integrados ILP e ILPF comparada ao sistema LAV, deve-se a maior dinâmica do N no solo. A utilização do N disponível no solo é maior nas áreas integradas, devido à alta demanda originada pela pastagem, provocada pelo animal, que ao pastear a planta, estimula o seu crescimento necessitando maiores quantidades de N. Com isso, as formas de N disponíveis no solo

que podem ser fonte de emissão de  $N_2O$  para atmosfera são diminuídas, aumentando a eficiência de utilização desse nutriente dentro do sistema integrado (Neill et al., 1997).

A utilização de sistemas integrados de produção altera a dinâmica de aporte de resíduos em superfície e, em especial em subsuperfície, através do crescimento e desenvolvimento da massa de raízes comparada a sistemas exclusivos de grãos (Salton et al., 2002). O maior crescimento radicular estimula a um maior consumo de N do solo, tornando esse elemento mais dinâmico dentro desse sistema, comparado as áreas somente de lavoura, as quais possuem uma menor demanda de N, pois nessas áreas ocorre uma maior redistribuição do N estrutural dentro das plantas, diminuindo a taxa de absorção de N, aumentada pelo sombreamento causado pelo dossel das plantas (Lemaire e Gastal, 1997).

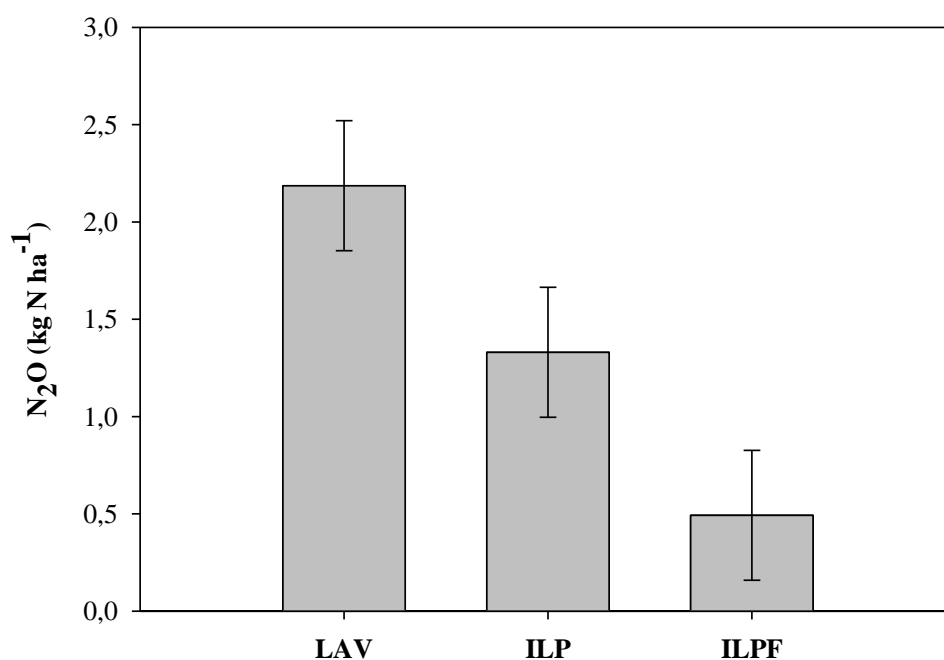
Outro aspecto importante nas áreas utilizadas em sistemas integrados, que deve ser salientada, refere-se a quantidade de palha na superfície, que pode ser reduzida a valores entre 2 a 3 t ha<sup>-1</sup> de resíduo em superfície (Cassol, 2003). Essa quantidade de resíduos é suficiente para atender as características de proteção do solo, e para manter os estoques de nutrientes no solo, uma vez que as raízes das pastagens possuem alta capacidade de crescimento e de alocação de C (Fujisaka et al., 1998; Souza et al., 2008).

Além da melhor utilização do N por esses sistemas, se corretamente manejados, também ocorre uma melhoria nos atributos físicos do solo (Spera et al., 2004), devido principalmente ao aumento do carbono orgânico em profundidade (Castro Filho et al., 1991), refletindo em condições menos propícias para a emissão de  $N_2O$ . A rotação envolvendo culturas de grãos com pastagens favorece uma melhoria na agregação, formando agregados maiores e mais estáveis os quais proporcionam melhores taxas de infiltração de água no solo (Salton, et al., 2008). Também ocorre nesses sistemas, especialmente com gramíneas que possuem elevado desenvolvimento radicular, um efeito atenuador da compactação superficial e subsuperficial causada pelo pisoteio animal, diminuindo assim, os possíveis efeitos negativos da densidade do solo (Andreolla et al., 2009; Piva, 2010), refletindo em menores taxas de emissões de  $N_2O$ , comparado aos sistemas exclusivos de lavoura.

O sistema de uso ILPF manteve ao longo das avaliações os menores valores de taxa de emissão de  $N_2O$  do solo. Os valores de PPA (Figura 2) e N-inorgânico (Figura 3) mantiveram uma tendência de menores concentrações nesse sistema, comparado ao

ILP e LAV. Sistemas de produção integrados, principalmente a ILPF com a inclusão da árvore como componente, determina uma dinâmica de água no solo diferenciada. A menor PPA pode estar associada a maior demanda evapotranspirativa do sistema. Benavides et al. (2009) avaliando a dinâmica da água no solo na Nova Zelândia, em áreas exclusivas de pastagem e pastagens com árvores, concluíram que área de árvores o solo era mais seco, devido principalmente ao maior consumo de água, aliado aos benefícios de agregação e porosidade nas áreas agroflorestais, que proporcionam maior infiltração no perfil do solo, juntamente com a maior demanda de N diminuem as condições para a formação do  $N_2O$ .

A emissão total acumulada do solo sem contabilizar os dejetos entre os sistemas de uso foi maior para a LAV com 2,18 kg de  $N-N_2O \text{ ha}^{-1}$ , seguido do ILP 1,33 kg de  $N-N_2O \text{ ha}^{-1}$  e do ILPF com 0,49 kg de  $N-N_2O \text{ ha}^{-1}$  (Figura 4).



**Figura 4.** Emissão acumulada de  $N_2O$  do solo submetido a sistemas de uso sob plantio direto no período avaliado de 450 dias: LAV: (Lavoura); ILP: (Integração Lavoura-pecuária); ILPF: (Integração Lavoura-Pecuária Floresta). Ponta Grossa-PR. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa DMS ( $p < 0,05$ ).

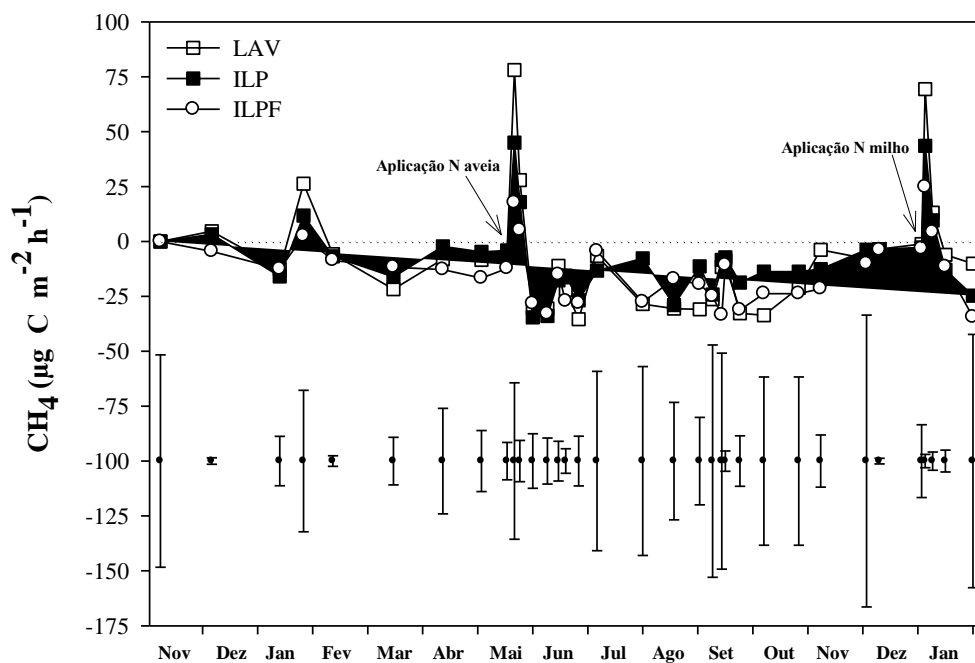
Os resultados de emissão total de  $N_2O$  desse estudo estão próximos aos encontrados por Velthof e Oenema (1995), avaliando a emissão de  $N_2O$  em solos sob

pastagens não fertilizadas, em clima temperado, chegaram a valores próximos de 2,0 kg de N ha<sup>-1</sup>. No cerrado Brasileiro com diferentes sistemas de uso do solo, o valor encontrado de emissão acumulada de N<sub>2</sub>O no sistema ILP foi próximo de 2,0 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Carvalho, 2010), superior ao observado no presente estudo, o qual foi 1,33 kg de N ha<sup>-1</sup>.

A emissão total acumulada de N-N<sub>2</sub>O em áreas de pastagens é muito variável e dependente de alguns fatores, como clima, aplicação de adubo nitrogenado e tipo de solo. Assim, a emissão total de N-N<sub>2</sub>O em solos sob pastagens em clima temperado podem variar de 1,2 a 9 kg de N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Maljanen et al., 2004; Nykanen et al., 1995; Regina et al., 2004).

## CH<sub>4</sub>

O fluxo de CH<sub>4</sub> do solo no período avaliado apresentou três picos isolados de emissão para a atmosfera (Figura 5). No restante das avaliações o solo foi dreno de CH<sub>4</sub> da atmosfera, não tendo grandes variações entre os sistemas de uso do solo.



**Figura 5.** Fluxo de CH<sub>4</sub> do solo submetido a sistemas de uso sob plantio direto no período de nov/2010 a jan/2012: LAV: (Lavoura); ILP: (Integração Lavoura-pecuária);

ILPF: (Integração Lavoura-Pecuária Floresta). Ponta Grossa-PR. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa DMS ( $p < 0,05$ ).

Nos três picos de emissão ocorreu uma tendência em que o sistema LAV obteve a maior taxa de emissão, seguido do ILP e do ILPF (Figura 5). No primeiro pico de emissão no final de janeiro de 2010, a cultura da soja estava no final do ciclo e pode ter ocorrido uma contribuição na quantidade de matéria seca depositada ao solo pela queda das folhas, sendo estimulada a maior decomposição desses resíduos pelos microrganismos. Outro fator que pode ter contribuído para o pico de emissão foi a PPA, que nessa coleta encontrava-se acima de 70 %. Essa condição de maior umidade e disponibilidade de C orgânico, e também pelas condições físicas de agregação e porosidade, as quais são menores no sistema LAV comparados aos sistemas integrados, principalmente em ILPF, pode ter favorecido a produção de CH<sub>4</sub>.

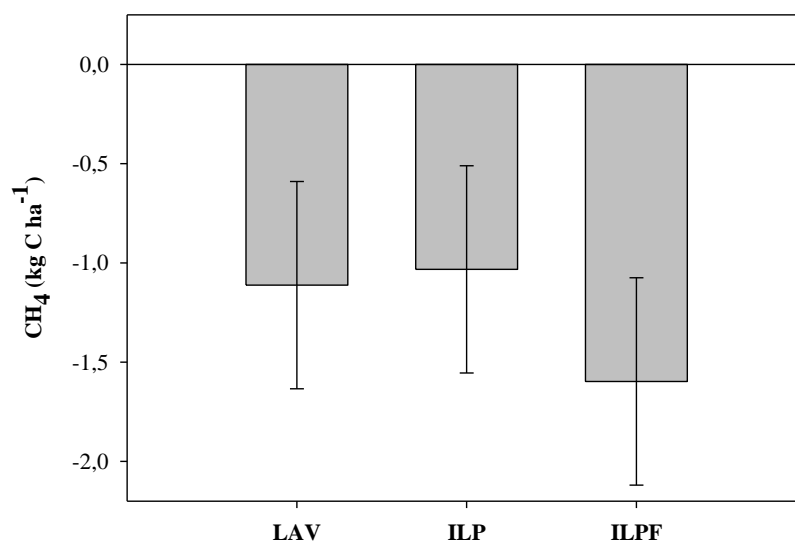
A produção de CH<sub>4</sub> ocorre através de bactérias anaeróbicas, pelo processo chamado de metanogênese (Hütsch, 1998), em condições de baixo potencial redox e restrição de O<sub>2</sub> no solo (Smith et al., 2003). Já a oxidação é feita por bactérias aeróbicas metanotróficas, que utilizam o CH<sub>4</sub> como fonte de energia e carbono, dependendo do O<sub>2</sub> no solo. Com isso as condições de aeração do solo em diferentes sistemas de uso podem exercer grande influência para o solo ser fonte ou dreno de CH<sub>4</sub> para a atmosfera.

Do período que compreendeu entre a colheita da soja no verão de 2010 até a semeadura da aveia no outono de 2010, o solo foi dreno de CH<sub>4</sub> da atmosfera, sem grandes variações entre os sistemas de uso (Figura 5). No ciclo da aveia após a aplicação de 90 kg de N ha<sup>-1</sup> ocorreu o segundo pico de emissão, sendo que o sistema LAV obteve os maiores valores próximo de 78 µg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, seguido do ILP com 44 µg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> e do ILPF com 17 µg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>.

Os maiores valores de emissão de CH<sub>4</sub> observados no sistema LAV podem estar relacionados com a maior quantidade de resíduos sobre o solo (Tabela 1), em comparação aos sistemas integrados, que juntamente com a aplicação do N mineral, estimularam uma maior mineralização do N-orgânico, favorecendo a formação de N na forma de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, como pode ser observado nas figuras 3a e 3b. Essa maior quantidade de N-mineral, principalmente na forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, inibiu a oxidação do CH<sub>4</sub> nos solos (Willison et al. 1995), que associados as condições de PPA e temperatura

favoreceram a produção (Boeckx et al., 1997; Moiser et al., 1991), criando condições específicas para a produção de  $\text{CH}_4$  (Figura 2).

A emissão total acumulada de  $\text{CH}_4$  do solo no período avaliado foi negativa, ocorrendo uma absorção desse gás no solo em todos os sistemas avaliados. Não ocorreu diferença estatística entre os tratamentos (Figura 6). A maior absorção ocorreu no sistema ILPF com  $-1,59 \text{ kg de C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$  seguido da LAV com  $-1,11 \text{ kg de C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$  e da ILP com  $-1,03 \text{ kg de C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$  (Figura 6). A absorção de  $\text{CH}_4$  em solos sob pastagem é relatada como sendo maior do que em áreas de culturas anuais em várias regiões no mundo (Saggar et al., 2007; Boeckx e Van Cleemput, 2001), sendo que a absorção é influenciada pela estação do ano, tendo duas a três vezes mais absorção no verão do que no inverno (Saggar et al., 2007).



**Figura 6.** Emissão acumulada de  $\text{CH}_4$  do solo submetido a sistemas de uso sob plantio direto no período avaliado de 450 dias: LAV: (Lavoura); ILP: (Integração Lavoura-pecuária); ILPF: (Integração Lavoura-Pecuária Floresta). Ponta Grossa-PR. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa DMS ( $p < 0,05$ ).

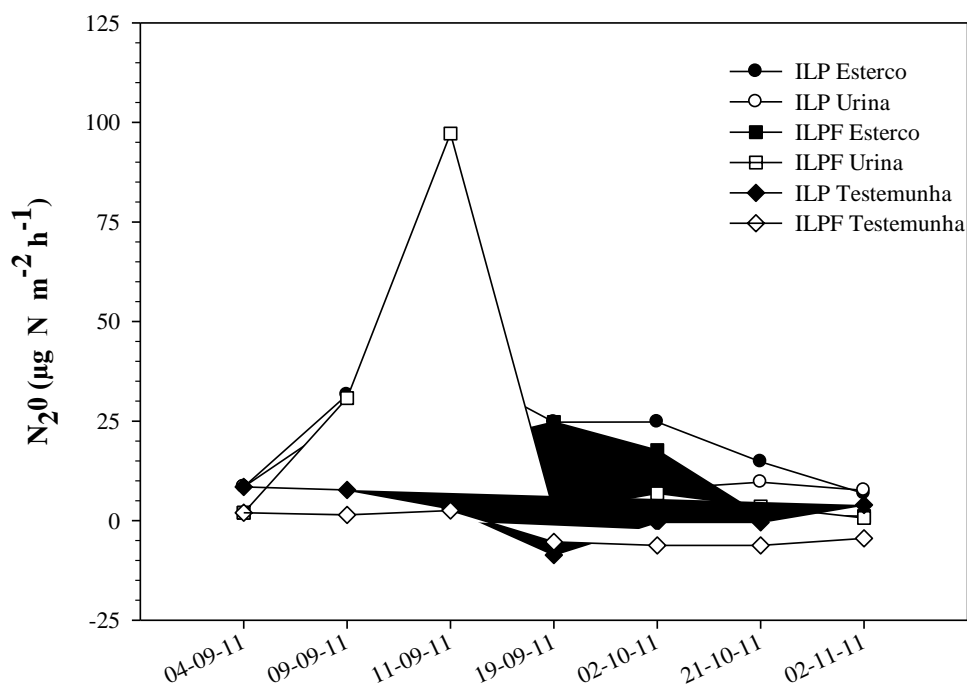
A maior absorção acumulada de  $\text{CH}_4$  no sistema ILPF pode estar associada com melhores condições físicas do solo, como estrutura e porosidade, devido ao maior crescimento e desenvolvimento radicular das pastagens, e principalmente das árvores, reduzindo a quantidade de água nos poros (Figura 2) pela maior demanda dessas culturas. A melhoria nos atributos físicos do solo melhoram as condições de drenagem e

a difusão de  $O_2$  aumentando a capacidade do solo em oxidar o  $CH_4$  da atmosfera (Saggar, 2003; Ojima et al., 1993), tornando o sistema integrado um dreno de  $CH_4$  da atmosfera.

### Fluxo de $N_2O$ e $CH_4$ dos dejetos

A aplicação da urina no solo aumentou a emissão de  $N_2O$  tanto no ILP como no ILPF. No dia 11/09 três dias após a aplicação da urina ocorreu a maior taxa de emissão, próximo dos  $100 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$  no sistema ILPF (figura 7). Chiavegato (2010) encontrou um valor superior de emissão de  $N-N_2O$  proveniente da urina de bovinos, com um pico próximo de  $180 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ . Esse pico de emissão mais baixo pode ter relação com a menor concentração de N na urina e pela baixa produção de urina por animal, menos de 0,8 L.

A emissão de  $N_2O$  proveniente do esterco tanto no sistema ILP como no ILPF se manteve baixa, devido principalmente a menor concentração de N em formas mais solúveis, e pelas características químicas desse material, como por exemplo, maior teor de C solúvel.

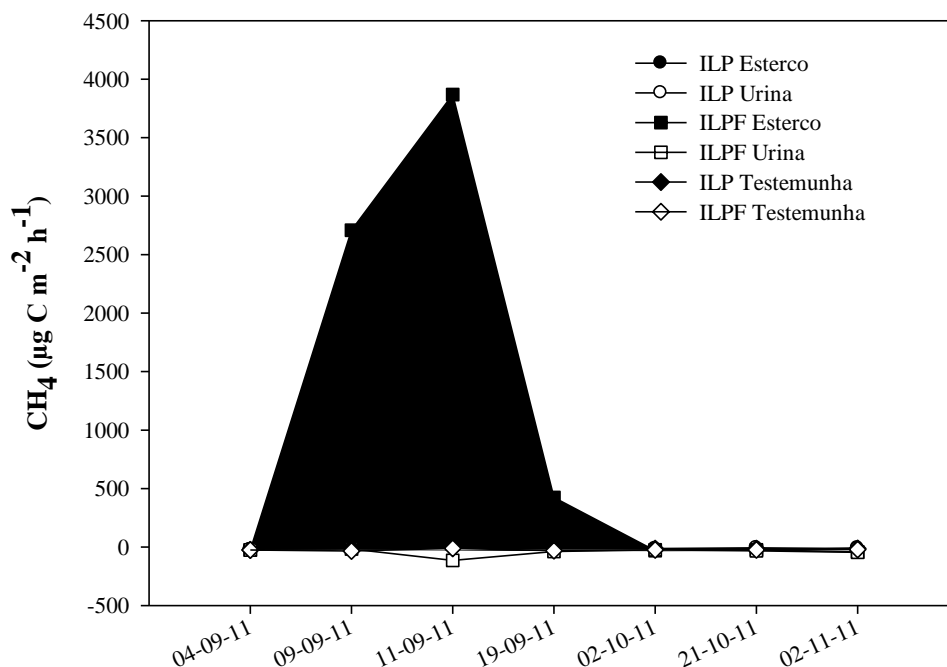


**Figura 7.** Fluxo de  $N_2O$  do esterco e da urina de bovinos submetidos a sistemas de uso sob plantio direto: ILP: (Integração Lavoura-pecuária); ILPF: (Integração Lavoura-

Pecuária Floresta; ILP e ILPF Testemunha- sem aplicação de dejetos). Ponta Grossa-PR.

Cerca de 10 dias após a aplicação da urina na coleta do dia 19/09 a taxa de emissão de  $N_2O$  se encontrava baixa, próximo ao observado no solo sem dejetos, não tendo grandes variações entre os tratamentos (Figura 7). Cerca de 10 a 15 dias após a deposição dos dejetos no solo a taxa de emissão de  $N_2O$  diminui a valores iguais aos observados no solo sem dejetos. A contribuição da urina para a emissão foi pontual, tendo um pico de curta duração, corroborando com outros resultados (Chiavegato, 2010; Williams et al., 1999; Saggar et al., 2004).

Com relação à taxa de emissão do  $CH_4$  está foi maior para o esterco comparado a urina, sendo o maior pico de emissão para atmosfera no sistema ILPF seguido ILP (Figura 8). Os valores de emissão chegaram próximos dos  $3800 \mu g C m^{-2} h^{-1}$  no sistema ILPF e  $2800 \mu g C m^{-2} h^{-1}$  para ILP, três dias após a aplicação dos dejetos (Figura 8). A contribuição da urina para a emissão de  $CH_4$  foi muito pequena, não sendo considerada significativa.



**Figura 8.** Fluxo de  $CH_4$  do esterco e da urina de bovinos submetidos a sistemas de uso sob plantio direto: ILP: (Integração Lavoura-pecuária); ILPF: (Integração Lavoura-

Pecuária Floresta; ILP e ILPF Testemunha- sem aplicação de dejetos). Ponta Grossa-PR.

A taxa de emissão de  $\text{CH}_4$  após 20 dias diminui consideravelmente, voltando a valores próximos aos do solo sem aplicação do dejetos. Isso mostra que conforme passa o tempo após a aplicação, o esterco vai perdendo água, e assim, diminuindo as condições de anaerobiose, com isso diminuindo as condições para a produção de  $\text{CH}_4$  (Saggar et al., 2004; Lodman et al., 1993).

É sabido, que a contribuição para emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  de áreas pastejadas, pelos dejetos é significativa (Oenema et al., 1997; Velthof e Oenema, 1995). Essa contribuição é devido principalmente pela grande quantidade de dejetos gerados pelos animais por área, e pela alta concentração de N na urina e C no esterco (Oenema et al., 1997), que aumentam a taxa de emissão, principalmente sob condições de umidade elevada. Assim, é fundamental avaliar essa contribuição por parte dos dejetos e fazer o balanço da emissão dos gases dentro de cada sistema de uso e manejo do solo.

A contribuição dos dejetos para o fluxo e  $\text{N}_2\text{O}$  em sistemas integrados foi verificada, identificando que a maior contribuição é a partir da urina dos animais. Sendo assim, foi determinada a emissão total acumulada por um período de 10 dias, devido ao fato de que após esse período os fluxos de emissão foram muito baixos (figura 8). O fluxo de emissão acumulada em 10 dias de  $\text{N}_2\text{O}$  do experimento está apresentado na tabela 2.

**Tabela 2.** Fluxo total acumulado, em 10 dias, de óxido nitroso dos dejetos dos bovinos utilizados no experimento. Ponta Grossa-PR.

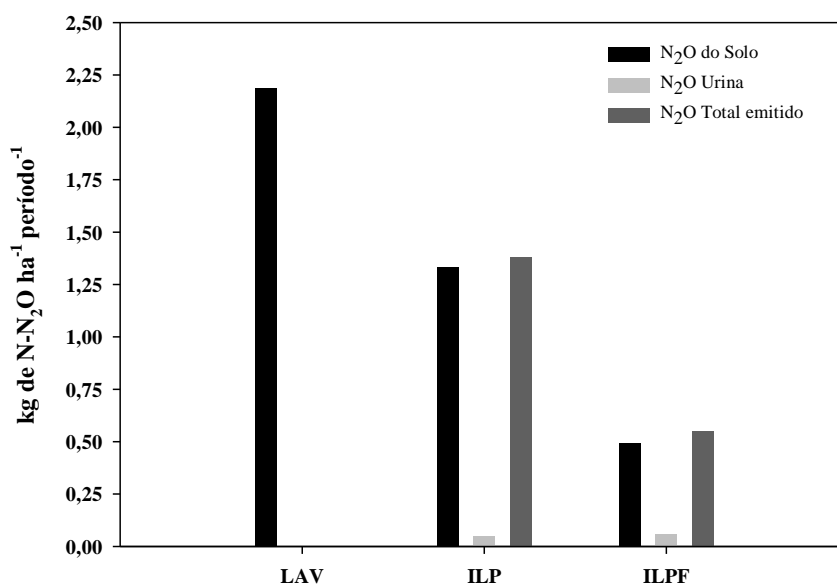
Tratamento	Emissão acumulada de $\text{N}_2\text{O}$		Fluxo de $\text{N}_2\text{O}$	
	mg de N- $\text{N}_2\text{O}$ dejetos <sup>-1</sup>	kg N- $\text{N}_2\text{O}$ animal <sup>-1</sup> período de pastejo <sup>-1</sup>	kg de N dos dejetos animal <sup>-1</sup> período <sup>-1</sup>	kg de N- $\text{N}_2\text{O}$ m <sup>2</sup> kg de N aplicado <sup>-1</sup>
ILP urina	9,65	0,012	5,47	0,22
ILPF urina	12,89	0,015	5,47	0,27

A emissão acumulada de  $\text{N}_2\text{O}$  entre os sistemas integrados, não teve grande variação (Tabela 2). Os valores de  $\text{N}_2\text{O}$  dos dejetos foram menores do que os observados por Chiavegato (2010) e Maggiotto et al. (2000), em diferentes condições de

clima, solo e animais, variando de 8,6 a 140 mg de N-N<sub>2</sub>O dejetos<sup>1</sup>. A quantidade de N perdido na forma de N<sub>2</sub>O para atmosfera do N que entrou via urina foi de 0,22 e 0,27 para os sistemas ILP e ILPF, valores inferiores aos que são relatados na literatura.

A emissão de N<sub>2</sub>O do solo mais urina, gerou um fluxo acumulado de 1,37 kg de N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> para ILP e 0,55 kg de N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> para ILPF (Figura 9). Carvalho (2010), avaliando a emissão de N-N<sub>2</sub>O em sistema de ILP n cerrado Brasileiro encontrou 2,0 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de emissão total.

Os valores de N-N<sub>2</sub>O da urina estão abaixo dos observados na literatura, isso pode estar associado a menor quantidade de urina produzida pelos animais do experimento, cerca de 0,8 L e pela menor concentração de N na urina 5,4 g L<sup>-1</sup>, refletindo, com isso, numa menor emissão de N<sub>2</sub>O para atmosfera, que associado as melhores condições físicas de solo, promovidas pelas raízes das pastagens e das árvores, diminuíram a PPA (Figura 2), criando melhores condições para infiltração de água e e facilitando a secagem do perfil do solo, diminuindo assim, possíveis sítios de anaerobiose em sistemas integrados, que poderiam aumentar a emissão de N<sub>2</sub>O por desnitrificação (Ball et al., 1999).



**Figura 9.** Emissão total líquida de N<sub>2</sub>O do solo mais a contribuição da urina dos animais do experimento, no período de avaliação de 450 dias. Ponta Grossa, PR.

As emissões de  $N_2O$  dos dejetos em pastagens são muito variáveis e dependentes das condições físicas do solo, da quantidade de água no perfil e da concentração de N no solo, por isso, precisam ser melhor estudadas e entendidas, principalmente, em função da grande dinâmica do N no solo, a qual é modificada completamente dependendo das condições de ambiente em que são produzidas.

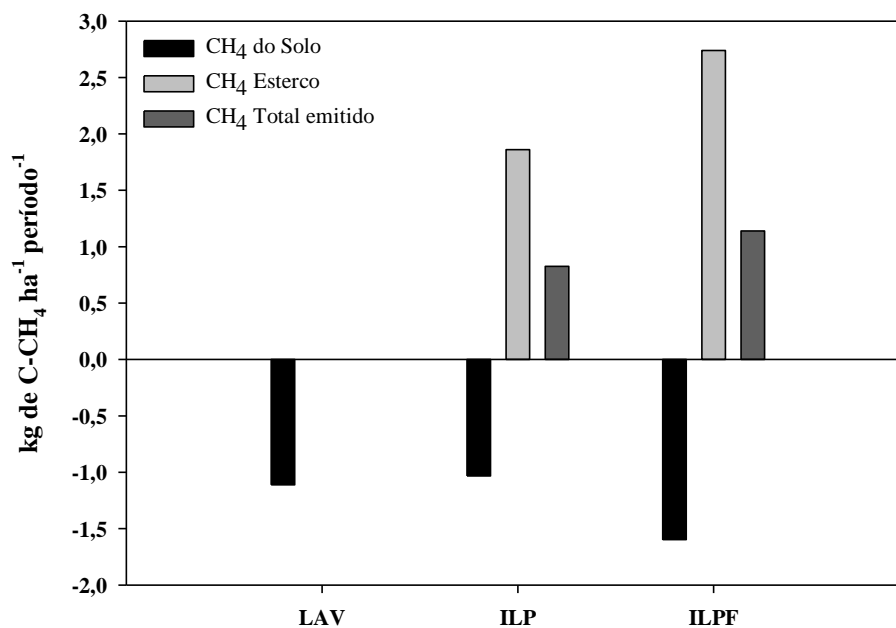
Os valores do fluxo acumulado de  $CH_4$  durante os 10 dias logo após a aplicação dos dejetos e o fator de emissão por animal pelo período de pastejo estão apresentados na tabela 3.

**Tabela 3.** Fluxo total acumulado, em 10 dias, de metano e fator de emissão dos dejetos de bovinos utilizados no experimento. Ponta Grossa-PR.

Tratamento	Emissão acumulada de C- $CH_4$	
	mg de C- $CH_4$ dejetos <sup>-1</sup>	kg C- $CH_4$ animal <sup>-1</sup> período de pastejo <sup>-1</sup>
ILP esterco	387,06	0,46
ILPF esterco	569,98	0,68

O fluxo de  $CH_4$  dos dejetos depositados no solo para o período de pastejo entre os sistemas integrados foi semelhante, variando de 0,46 kg de C- $CH_4$  por animal no ILP, para 0,68 kg de C- $CH_4$  por animal no ILPF.

A emissão total acumulada de C- $CH_4$  do solo mais a do esterco apresentaram valores positivos, sendo fonte de emissão de  $CH_4$  para atmosfera (Figura 10). Entre os sistemas integrados o ILPF teve uma emissão 1,1 kg de C- $CH_4$  ha<sup>-1</sup> período<sup>-1</sup> e a ILP 0,8 kg de C- $CH_4$  ha<sup>-1</sup> período<sup>-1</sup>. Essa contribuição do esterco para emissão deve-se a elevada concentração de C no esterco e também pelas condições favoráveis a produção de  $CH_4$ , no esterco, logo após a sua deposição no solo, criando assim, uma condição de anaerobiose que favorece a atuação das bactérias metanogênicas que produzem  $CH_4$  (Hustch, 1998).



**Figura 10.** Emissão total líquida de CH<sub>4</sub> do solo mais a contribuição do esterco dos animais do experimento, no período de avaliação de 450 dias. Ponta Grossa, PR.

Vale ressaltar que as informações sobre gases provenientes de dejetos bovinos, principalmente, são escassas e precisam ser melhor estudadas para diferentes condições de clima e solo, para que assim possamos obter valores mais próximos da realidade, os quais, com os valores de estoque de C no solo, possibilite estimar qual é a real contribuição dos sistemas integrados para o mitigar a emissão dos gases de efeito estufa.

### Conclusões

1. A aplicação de nitrogênio aumentou o conteúdo de N-mineral no solo, que associado aos maiores valores de PPA determinam o fluxo de N<sub>2</sub>O para atmosfera.

2. A taxa de emissão de CH<sub>4</sub> foi significativa somente quando o conteúdo de N-mineral no solo foi alto, no restante das avaliações o solo foi dreno de CH<sub>4</sub> da atmosfera.

3. A emissão total acumulada de N<sub>2</sub>O dos sistemas de uso foi maior na lavoura, comparado aos sistemas integrados, devido principalmente à pequena contribuição da urina nesse experimento para emissão total.

4. O fluxo de CH<sub>4</sub> entre os sistemas de uso foi maior para os sistemas integrados, comparado a lavoura devido à alta contribuição do esterco para a emissão de CH<sub>4</sub>.

5. Sistemas integrados de produção apresentam emissões significativas de N<sub>2</sub>O e principalmente de CH<sub>4</sub>, oriundos dos dejetos. Contudo, deve-se levar em consideração a quantidade de alimentos (carne, leite...), que são produzidos por estes sistemas, para o cálculo do potencial de aquecimento global, além, do maior potencial em acumular C no solo comparado a sistemas “puros” de grãos.

### Referências Bibliográficas

- ABBASI, M. K.; ADAMS, W. A. Gaseous N emission during simultaneous nitrification-denitrification associated with mineral N fertilization to a grassland soil under field conditions. *Soil Biology & Biochemistry*, 32:1251-1259, 2000.
- ANDREOLLA, V. R.M.; MORAES, A. de; BONA FILHO, A.; SANDINI, I.; CARDOSO, D.L.; BONINI, A.K.; MEDRADO, R.D.; RIOS, E.M. Influência do pastejo sobre a densidade do solo de um Latossolo Bruno em um sistema de integração lavoura-pecuária. In: XXXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2009, Juazeiro-BA/Petrolina-PE. Anais. CD-ROM. Jaboticabal: SBEA, 2009.
- BALL, B. C.; SCOTT, A.; PARKER, J. P. Field N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. *Soil & Tillage Research*, 53:29-39, 1999.
- BENAVIDES, R.; DOUGLAS, G.B.; OSORO, K. Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agroforestry Systems*, 76:327-350, 2009.
- BOECKX, P.; VAN CLEEMPUT, O. Estimates of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> fluxes from agricultural lands in various regions in European Nutrient Cycling Agroecosystems, 60:35-47, 2001.
- BOECKX, P.; VAN C.; VILLARALVO, I. Methane oxidation in soils with different textures and land use. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Dordrecht, 49:91-95, 1997.
- CARVALHO, J. L. N. Dinâmica do carbono e fluxo de gases de efeito estufa em sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia e no Cerrado. 2010. 141 p. (Tese - Doutorado), Programa de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2010.

- CASSOL, L. C. Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. 2003. 143f. (Tese - Doutorado), Programa de pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- CASTRO FILHO, C.; HENKLAIN, J. C.; VIEIRA, M. J.; CASÃO JUNIOR, R. Tillage methods and soil and water conservation in southern in Brasil. *Soil & Tillage Research*, 20:271-283, 1991.
- CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Sequestro de carbono em solos na America Latina: Agricultura e aquecimento global. *Boletim Informativo SBCS*, 32:40-44, 2007.
- CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M.; CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. *Scientia Agrícola*. 64:83-99, 2007.
- CHIAVEGATO, M. B. Fluxo de gases de efeito estufa no solo com deposição de fezes e urina de bovinos de corte na região Sudoeste da Amazônia, 2010. 102p. (Dissertação - Mestrado), Programa de pós-graduação em ciências. Centro de energia nuclear na agricultura da Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2010.
- DOBBIE, K. E.; SMITH, K. A. The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N<sub>2</sub>O emissions from an imperfectly drained gleysol. *European Journal of soil Science*. 52:667-673, 2001.
- EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Integração lavoura-pecuária floresta. Janeiro de 2011. Disponível em <[http://www.cpaa.embrapa.br:8080/embrapa/transferencia-de tecnologia/vantagens-da-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-no-am-sao-apresentadas](http://www.cpaa.embrapa.br:8080/embrapa/transferencia-de-tecnologia/vantagens-da-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-no-am-sao-apresentadas)> Acessado dia 20/02/2012.
- EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Brasília, Embrapa Produção de Informação, 2006. 306p.
- FUJISAKA, S.; CASTILLA, C.; ESCOBAR, G.; RODRIGUES, V.; VENEKLAAS, E. J.; THOMAS, R.; FISHER, M. The effects of forest conversion on annual crops and pasture: Estimates of carbon emissions and plant species loss in Brazilian Amazon colony. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 69:17-26, 1998.
- HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy*, 49:19-199, 1993.
- 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*, 28:27-35, 1998.

- IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, IPCC, 104p. 2007.
- 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*, 36: 425-444, 1985.
- LAL, R.; Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environmental pollution*, 116:353-362, 2002.
- LAL, R.; FOLLETT, R.F.; KIMBLE, J.; COLE, C.V. Managing US cropland to sequester carbon in soil. *Jouranal Soil Water Conservation*. 54:374-381, 1999.
- LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIER, G. ed. *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Springer, 1997. p. 3-43.
- LIMA. M. A.; PESSOA, M. C. P. Y.; LIGO, M. A. V. Emissões de Metano na pecuária. Relatórios de referência, primeiro inventário Brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Ministério de Ciência e Tecnologia, Embrapa 76 p. 2006.
- LODMAN, D. W.; BRANINE, M. E.; CARMEAN, B. R.; ZIMMERMAN, P.; WARD, G. M.; JOHNSON, D. E. Estimates of methane emissions from manure of US. Cattle. *Chemosphere*. 26:189-199, 1993.
- MAACK, R. Notas preliminares sobre clima, solos e vegetação do Estado do Paraná. Curitiba, Arquivos de Biologia e Tecnologia., 2:102-200, 1948.
- MAGGIOTTO, S.R., WEBB, J.A., WAGNER-RIDDLE, C., THURTELL, G.W., Nitrous and nitrogen oxide emission from turfgrass receiving different forms of nitrogen fertilizer. *Journal Environment Quality*. 29:621-630, 2000.
- MALJANEN, M.; KOMULAINEN, V.M.; HYTONEN, J.; MARTIKAINEN, P.; LAINE, J. Carbon dioxide, nitrous oxide and methane dynamics in boreal organic agricultural soils with different soil characteristics. *Soil Biology Biochemical*. 36:1801-1808, 2004.
- MATHEWS, B.W.; SOLLENBERGER, L.E. Grazing systems and spatial distribution of nutrients in pastures: soil considerations. In: *NUTRIENT CYCLING IN FORAGE SYSTEMS*. Proceedings... Columbia, p.213-229, 1996.
- MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. Contém informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em: <http://www.mct.gov.br>. 2010.

- MORAES, A. LESAMA, M. F.; ALVES, S. J. Lavoura-pecuária em sistemas integrados na pequena propriedade. In: Encontro Latino Americano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade, 3., 1998, Pato Branco. Anais. Pato Branco: CEFET-PR, 1998. CD-ROM.
- 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*, 30:2087-2098, 1998.
- MOISER, A. SCHIMEL, D. VALENTINE, D. BRONSON, K.; PARTON, W. Methane and nitrous-oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. *Nature* 350:330-332, 1991.
- MOSIER, A.R. Chamber and isotope techniques. In: ANDREAE, M.O.; SCHIMEL, D.S., ed. Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop. Berlin, Wiley. p.175-187, 1989.
- NEILL, C.; GARCIA-MONTIEL, D.C.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.; STEUDLER, P.A.; MELILLO, J.M.; BRITO, M. Net nitrogen mineralization rates in soils following deforestation for pasture across the southwestern Brazilian Amazon Basin Landscape. *Oecologia*, 110: 243-252, 1997.
- NYKANEN, H.; ALM, J.; LANG, K.; SILVOLA, J.; MARTIKAINEN, P.J. Emissions of CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> from a virgin fen and a fen drained for grassland in Finland. *Journal Biogeochemical* 22:351-357, 1995.
- OLIVIER, J.G.J.; PULLES, T.; VAN AARDENNE, J.A. Part III: Greenhouse gas emissions: 1. Shares and trends in greenhouse gas emissions; 2. Sources and Methods. In: ed. CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion 1971-2004. Paris, International Energy Agency (IEA), 2006.
- OENEMA, O.; VELTHOF, G. L.; YAMULKI, S.; JARVIS, S. C. Nitrous oxide emissions from grazed grassland. *Soil use management*, 13:288-295, 1997.
- OJIMA, D.S.; VALENTINE, D.W.; MOSIER, A.R.; PARTON, W.J. SCHIMEL, D.S. Effect of land-use change on methane oxidation in temperate forest and grassland soils. *Chemosphere*. 26:675-685, 1993.
- PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; HUNT, H.W. Management options for reducing CO<sub>2</sub> emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry*, 48:147-163, 2000.
- PIVA, J. T. Emissão de óxido nitroso e metano em um Latossolo bruno submetido a sistemas de preparo e integração lavoura pecuária. 2010. 57 p. (Dissertação - Mestrado), Programa de pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2010.

- PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R. T. S.; PEDREIRA, M. S.; LIMA, M. A.; BERCHIELLI, T. T.; BARBOSA, P. F.; Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 39:277-283, 2004.
- REGINA, K.; SYVASALO, E.; HANNUKKALA, A.; ESALA, M. Fluxes of N<sub>2</sub>O from farmed peat soils in Finland. *European Journal of Soil Science*. 55:591–599, 2004.
- SAGGAR, S.; HEDLEY, C. B.; GILTRAP, D.L.; LAMBIE, S. J. Measured and modelled estimates of nitrous oxide emission and methane consumption from sheep-grazed pasture. *Agricultural Ecosystems Environment*, 122:357–365, 2007.
- SAGGAR, S.; BOLAN, N. S., BHANDRAL, R., HEDLEY, C. B.; LUO, J. A review of emissions of methane, ammonia, and nitrous oxide from animal excreta deposition and farm effluent application in grazed pastures. *Journal of Agricultural Research* 47:513-544, 2004.
- SAGGAR, S.; HEDLEY, C. B.; TATE, K. R. Methane sources and sinks in New Zealand grazed pastures. *New Zealand Soil News* 51:6–7. 2003.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:11-21, 2008.
- SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACHADO, L.A.Z.; OLIVEIRA, H. Pastoreio de aveia e compactação do solo. *Revista Plantio Direto*, 69:32-34, 2002.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B. J.; VENZKE FILHO, S.P.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). – Emissões de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1023-1029, 2009.
- SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; LIMA, C.V.S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E.J.; CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistemas de integração agricultura-pecuária submetidos a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1273-1282, 2008.
- 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*, 54: 779–791, 2003.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos

físicos de solo e na produtividade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 28:533-542, 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análise de Solo, Plantas e Outros Materiais*. 2nd. Porto Alegre, Departamento de Solos UFRGS, 174p. 1995.

VELTHOF, G.L., OENEMA, O.; POSTMA, R.; VAN BEUSICHEMM, .L. Effects of type and amount of applied nitrogen fertilizer on nitrous oxide fluxes from intensively managed grassland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46:257-267, 1997.

VELTHOF, G. L.; OENEMA, O. Nitrous oxide fluxes from grassland in the Netherlands: II. Effects of soil type nitrogen fertilizer application and grazing. *European Journal Soil Science*. 46:541–549, 1995.

WILLIAMS, D. L. L.; INESON, P.; COWARDS, P. A. Temporal variations in nitrous oxide fluxes from urine-affected grassland. *Soil Biology & Biochemistry*. 31:779–788, 1999.

WILLISON, T.W.; WEBSTER, C.P.; GOULDING, K.W.T.; POWLSON, D.S. Methane oxidation in temperate soils: effects of land use and the chemical form of nitrogen-fertilizer. *Chemosphere* 30:539–546, 1995.

#### 4. CAPÍTULO III

##### **Estoque de carbono orgânico do solo em sistemas integrados de produção nos Campos Gerais do Paraná**

**Resumo** – Dependendo do uso e do manejo empregado ao solo, este pode se tornar fonte ou dreno de C-CO<sub>2</sub> atmosférico. O objetivo deste trabalho foi quantificar o estoque de carbono orgânico total (COT) em uma associação de Latossolo Bruno e Cambissolo háplico (Ponta Grossa-PR), submetido a diferentes sistemas de uso do solo sob plantio direto: lavoura de soja no verão e cobertura de aveia no inverno (LAV), integração lavoura-pecuária, pastejo no inverno da aveia e cultivo de soja no verão (ILP), integração lavoura-pecuária floresta (ILPF), sistema igual ao ILP com árvores intercaladas entre as culturas e campo nativo (CN). O delineamento utilizado foi blocos ao acaso com três repetições. Amostras de solo foram coletadas até 100 cm de profundidade e analisadas por combustão seca. A concentração de C foi maior na camada superficial do solo em todos os tratamentos avaliados, diminuindo em profundidade. O estoque de C acumulado até 20 cm de profundidade não apresentou diferença significativa entre os sistemas de produção integrados (ILP e ILPF) e o CN, sendo porem menor no sistema LAV. Na camada de 0-100 cm, o estoque acumulado de C foi maior no ILPF (126 Mg ha<sup>-1</sup>), mas não diferindo do ILP (92 Mg ha<sup>-1</sup>) e do CN (101 Mg ha<sup>-1</sup>), sendo porem maior em relação ao LAV (68,9 Mg ha<sup>-1</sup>). A adoção de sistemas integrados (ILP e ILPF) em plantio direto é uma estratégia viável para manter e aumentar o estoque de C nos solos agrícolas, mesmo em curtos períodos de implantação desses sistemas.

**Palavras-Chave:** Sequestro de C-CO<sub>2</sub>; integração lavoura-pecuária; integração lavoura-pecuária floresta; carbono orgânico total.

**Abstract** – Depending on the use and management of the employee to the ground, this can become a source or sink of atmospheric CO<sub>2</sub>-C. The objective of this study was to quantify the total organic carbon (TOC) in a combination of Typic Oxisol and (Ponta Grossa-PR), subjected to different land use systems under no-tillage: soybean crop in summer and coverage oats in winter (CROP), integrated crop-livestock grazing winter oats and soybean cultivation in summer (CLI), crop-livestock integration forest (FCLI), equal to the CLI system with trees interspersed among crops and pasture (CN). The experimental design was randomized blocks with three replications. Soil samples were collected up to 100 cm depth and analyzed by dry combustion. The concentration of C is greater in the surface layer of the soil in all treatments, decreasing in depth. The C stock accumulated to 20 cm depth showed no significant difference between the integrated production systems (CLI and FCLI) and CN, being put under the CROP system. 0-100 cm layer in the stock accumulated was greater in FCLI C (126 Mg h<sup>-1</sup>), but not differing from CLI (92 Mg ha<sup>-1</sup>) and the CN (101 Mg h<sup>-1</sup>), being put higher in relation to CROP (68, 9 Mg ha<sup>-1</sup>). The adoption of integrated systems (CLI and FCLI) in no-tillage is a viable strategy to maintain and increase carbon storage in agricultural soils, even in short periods of deployment of these systems.

**Key words:** C-CO<sub>2</sub> sequestration, crop-livestock integration, crop-livestock integration forest, total organic carbon.

## **Introdução**

As regiões de clima tropical e subtropical, como o Brasil, possuem elevada capacidade de sequestrar carbono (C) em relação aos climas temperados (Pavei, 2005). O que controla a dinâmica do estoque de C nos sistemas agrícolas é o balanço entre a entrada via fotossíntese de CO<sub>2</sub> e a saída via mineralização da matéria orgânica do solo (MOS).

Dentre os diferentes compartimentos dos ecossistemas, o solo possui o maior reservatório de C, variando entre 1200 Pg a 1600 Pg (Bruce et al., 1999). Quando ocorre uma mudança no uso da terra, como por exemplo, uma conversão de um sistema natural para uma área de exploração agrícola ou pecuária, ocorre uma redução significativa nos teores de MOS (Fujisaka et al., 1998; Shuman et al., 2002).

Os sistemas de uso e manejo do solo determinam a viabilidade econômica da produção e a qualidade ambiental dos agroecossistemas. O acúmulo e armazenamento da MOS é um dos atributos diretamente relacionado a qualidade do solo. Sistemas de preparo como o plantio direto (PD), baseados no não revolvimento do solo e, que acumulem maiores quantidades de resíduos na superfície, proporcionarão uma proteção física a MO, devido a mineralização lenta e gradual dos seus compostos orgânicos, que são mantidos protegidos dentro dos agregados do solo (Diekow et al., 2005).

O PD feito de forma correta com rotação de culturas e alto aporte de resíduos, pode ser uma alternativa para mitigação dos gases de efeito estufa (GEE) atuando de forma direta como dreno de CO<sub>2</sub> e acumulando-o na forma de C nos solos (Amado et al., 2001; Diekow et al., 2005; Bayer et al., 2006). Isto é possível devido as condições proporcionadas por esse sistema que melhoram as propriedades químicas, físicas e biológicas, consequentemente melhorando as condições de estrutura do solo (Beare et al., 1994).

Além dos sistemas de preparo e manejo do solo, alguns fatores exercem forte influência na capacidade do solo em estocar C. Dentre estes fatores destacam-se, o clima (precipitação e temperatura), a quantidade e qualidade do material vegetal aportado ao sistema e a mineralogia do solo. Solos com diferentes composições

mineralógicas apresentam diferenças nos estoques de C, devido às interações organominerais (Bayer et al., 2006). Por exemplo, os solos argilosos possuem maiores estoques comparado a solos arenosos, devido a proteção física exercida pelos micro e macro agregados sobre a MO.

Assim, para que um sistema de produção alcance sucesso e consiga manter e/ou aumentar os estoques de C no solo, dependerá da quantidade de resíduos que é aportado ao solo, e por quanto tempo este material irá permanecer sobre ele, tornando-o mais resistentes aos processos degradativos, que levam a perdas de C (Bayer et al., 2006; Diekow et al., 2005; Lal, 2003).

Atualmente, alguns sistemas de uso do solo sob plantio direto vêm ganhando espaço e se destacando no Brasil, principalmente na região sul. Os chamados sistemas integrados de produção como a integração lavoura-pecuária (ILP) e mais recentemente a integração lavoura-pecuária floresta (ILPF), com a inclusão de mais uma fator ao sistema produtivo, a árvore. Esses sistemas buscam maximizar a utilização do uso da terra de uma propriedade de forma mais eficiente, aumentando a produtividade e qualidade ambiental. A integração mais praticada no Sul do Brasil, refere-se à alternância de pastagens de inverno (aveia e azevém) e culturas de grãos (soja e milho) na mesma área agrícola (Moraes et al., 1998). Segundo Salton (2005) os sistemas integrados de produção possuem viabilidade econômica e são mais sustentáveis do que sistemas “puros” de exploração, mesmo apresentando maior complexidade.

Esses sistemas promovem uma melhoria na qualidade física, química e biológica do solo, principalmente por promover grande aporte de C nas raízes das pastagens (Lal, 2002; Fujisaka et al., 1998). As pastagens dentro do sistema de rotação melhoram a estrutura do solo, pela grande quantidade de raízes crescendo e se desenvolvendo (Salton, 2005), refletindo em agregados maiores e mais estáveis, aumentando com isso a proteção da MOS, refletindo em maior acúmulo de C.

Cabe ressaltar que o manejo empregado a esses sistemas irá apontar a sua capacidade em atuar como fonte ou dreno de C para atmosfera. Diferentes intensidades de pastejo, maior ou menor oferta de forragem e a frequência dos pastejos são três fatores fundamentais para determinar a quantidade de resíduos sobre o solo, e dentro do perfil em profundidade, além de, influenciar na sua qualidade física e consequentemente a viabilidade em acumular C (Nicoloso et al., 2008).

A ILP possui alguns trabalhos relatando a capacidade de acumular C comparado a sistemas naturais e exclusivamente de lavoura (Salton, 2005; Nicoloso et al., 2008; Carvalho, 2010). Mas, a ILPF ainda precisa ser melhor estudada para determinar qual é a real contribuição desse sistema para o acúmulo de C, e quais fatores que o determinam. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar as implicações dos sistemas integrados de produção sob plantio direto, no acúmulo de carbono orgânico no solo nos campos gerais do Paraná.

## Material e Métodos

O trabalho foi conduzido na Fazenda Modelo do IAPAR em Ponta Grossa, PR, num experimento de campo implantado em 2006. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa (Maak, 1948), com temperatura média anual de 17°C e precipitação média anual de 1500 mm. De acordo com Embrapa (2006) o solo é classificado como associação Latossolo Bruno + Cambissolo Háplico, com relevo suave ondulado a ondulado, com textura franca arenosa, sendo 250 g kg<sup>-1</sup>, 650 g kg<sup>-1</sup> e 100 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para argila, areia e silte.

Antes da instalação do experimento até 2006, a área era originalmente coberta com vegetação de campo nativo da região dos campos gerais do Paraná. Mas que frequentemente era manejada com o uso do fogo. No início de 2006 para a implantação do experimento, a área foi preparada convencionalmente com aração e gradagem, e desde então segue em plantio direto.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com três repetições, com uma área total do experimento de 12,9 ha. Desde o início do experimento implantou-se o componente arbóreo. O pastejo das áreas de integração teve início no ano de 2008, e desde então segue no esquema de integração com as culturas de grãos. Os tratamentos consistiram em três diferentes sistemas de uso do solo:

Lavoura: No inverno utilizou-se a aveia preta (*Avena strigosa*) como cobertura morta para o solo, não sendo feita nenhuma utilização dessa cultura ou trato cultural. No verão a área foi cultivada com a cultura da soja (*Glycine Max*).

Integração lavoura-pecuária (ILP): no inverno a aveia foi utilizada para pastejo por animais da raça purunã, com mais ou menos 6 meses de idade. Sendo que todo o manejo da pastagem e do animal foi feito seguindo os critérios técnicos de boas

práticas. Para manter a pastagem a uma altura média de 20 cm, dentro dos preceitos de manejo adequado, foram utilizados quatro animais por parcela, mantidos no sistema de pastejo contínuo, com carga variável.

Integração lavoura-pecuária floresta (ILPF): tratamento igual ao ILP, porém nessa área as culturas de grãos e pastagem foram intercaladas com fileiras de três espécies de árvores (eucaliptos, grevilea e aroeira) dispostas três m entre plantas e 14 m entre fileiras.

As culturas de inverno e verão foram às mesmas para os três sistemas de uso, aveia no período de inverno semeada no início de Maio de 2010, com pastejo ocorrendo entre Junho a Outubro de 2010, em um sistema contínuo de pastejo. No verão fez-se semeadura da soja em plantio direto no início de Novembro de 2010, e a colheita da cultura realizada no final de Fevereiro de 2011. As culturas foram implantadas e conduzidas seguindo as recomendações técnicas da região.

Coletou-se, em março de 2011, amostras de solo até 100 cm de profundidade, através da abertura de duas trincheiras (25 x 50 cm) por parcela em sentido transversal as linhas da cultura, nas camadas de: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-45, 45-60, 60-80 e 80-100 cm. Coletaram-se as camadas de 0 a 30 com o auxílio de espátulas e as demais camadas com o uso de um trado do tipo rosca, com 15 cm de diâmetro.

Juntamente com a coleta de solo determinou-se a densidade através do método da escavação (Blake e Hartge, 1986). Sendo a massa do solo de cada camada determinada no campo e a exatidão das dimensões da trincheira assegurada por um gabarito de metal fixado inicialmente no solo, cuidadosamente escavado, na profundidade de 0-30 cm. Para assegurar a precisão das profundidades foi feita a passagem dentro da trincheira, de régua de 5, 10, 20 e 30 cm de profundidade e espessura de 25 cm, conferindo assim igual acurácia entre as trincheiras. Nas demais profundidades utilizou-se duplicatas, nas quais cravou-se dois anéis de 15 cm de diâmetro dentro da trincheira e o solo retirado com o uso do trado tipo rosca, sendo a profundidade aferida cuidadosamente com o uso de uma régua. Uma amostras de solo de cada camada foi retirada para correção da umidade (Embrapa, 1997).

As amostras de solo foram secas ao ar, moídas com auxílio de um rolo de madeira e passadas em peneira de 2 mm. Uma sub-amostra foi retirada e moída em gral de porcelana, até passar em peneira de 250 µm. Para a determinação da concentração de

carbono orgânico, foi utilizado o método de combustão seca no laboratório de Manejo e Biogeoquímica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em um analisador de carbono SHIMADZU TOC-V.

Para o cálculo do estoque de carbono orgânico utilizou-se o método descrito por Sisti et al. (2004), em que o procedimento se baseia na massa equivalente do solo, corrigindo o efeito diferenciado que os sistemas de manejo podem ter sobre a densidade do solo em cada camada amostrada.

A estabilidade dos agregados foi determinada, coletando uma amostra indeformada, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. O material foi seco e posteriormente destorroado a mão. Aproximadamente 50 g de cada amostra foi pesada e colocada em um conjunto de peneiras de malhas conhecidas de 4, 2, 1, 0,5, 0,25 mm e acoplado a um agitador mecânico, onde permaneceu por cinco minutos. O conteúdo remanescente em cada peneira foi separado e pesado, posteriormente foi realizado o peneiramento via úmido, em um equipamento com um balde acoplado a um agitador vertical, sendo as peneiras submetidas a 30 oscilações por minuto durante 15 minutos. Após esse processo o material de cada peneira foi transferido para recipientes e secos. As determinações dos agregados foram feitas segundo metodologia descrita por Castro Filho et al. (1998).

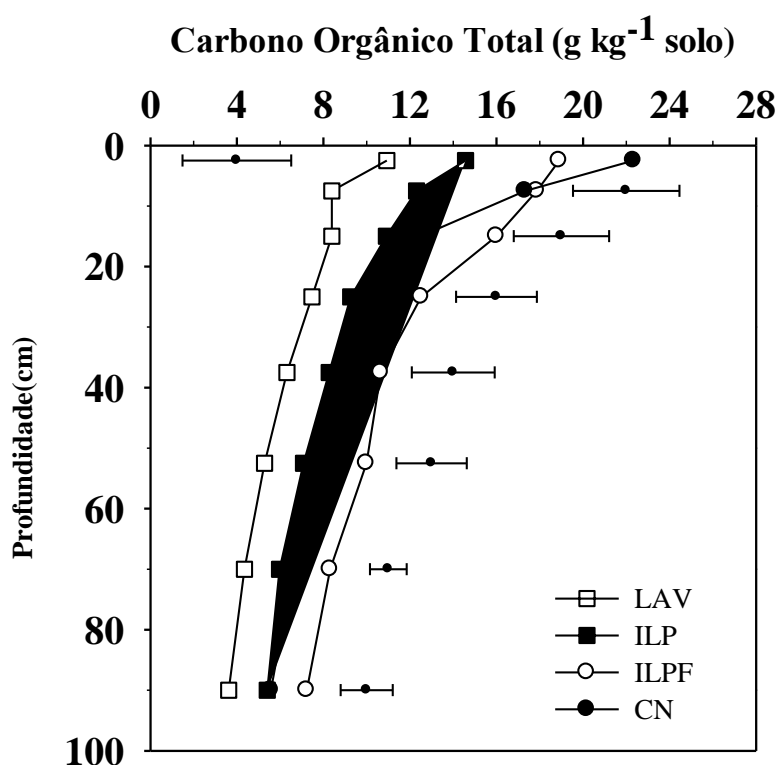
Para verificar as diferenças ente os sistemas de uso do solo na concentração e no estoque de COT, os resultados foram submetidos à análise da variância. Para comparação das médias entre os tratamentos foi aplicado o teste Tukey com  $p < 0,05$ , usando o programa Assistat.

## **Resultados e Discussão**

A concentração de carbono orgânico total (COT) foi maior nas camadas superiores do solo em todos os sistemas de uso e diminuiu em profundidade (Figura 1). Entre os sistemas, a maior concentração ocorreu no solo sob ILPF (18,9 g C kg<sup>-1</sup>), seguido do ILP (14,5 g C kg<sup>-1</sup>) solo e LAV (10,9 g C kg<sup>-1</sup>), todos com valores inferiores na camada de 0-5 cm ao CN que apresentou uma concentração de (22 g C kg<sup>-1</sup>). Esses resultados são inferiores ao observado em outro estudo no cerrado Brasileiro avaliando o COT em diferentes sistemas de uso e preparo do solo para um Latossolo Vermelho

distroférico, com valores de concentração de COT próximos de ( $30 \text{ g C kg}^{-1}$ ) em ILP e de ( $20 \text{ g C kg}^{-1}$ ) para o sistema lavoura sob plantio direto (Salton, 2005).

Os maiores valores de COT na camada superficial em sistema de plantio direto, é devido à deposição dos resíduos das culturas que ficam sobre o solo. Isto faz com que após a senescência das culturas ocorra à decomposição desses materiais que vão sendo incorporados ao solo pelos microrganismos.



**Figura 1.** Concentração de carbono no solo, em sistemas de uso sob plantio direto. Ponta Grossa-PR. (LAV = Lavoura anual; ILP = Integração lavoura-pecuária; ILPF = Integração lavoura-pecuária floresta; CN = Campo nativo). Barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

O não revolvimento do solo, e o contínuo aporte de resíduos favorece uma maior concentração de COT na camada superficial, que pode variar de poucos centímetros até 20 cm de profundidade. Ocorrem concentrações diferentes na camada superficial em função do clima, da região de estudo, do tipo de solo e da rotação de culturas empregadas (Bayer et al., 2001; Diekow et al., 2005; Sá et al., 2001).

Comparativamente ao CN que possui um equilíbrio, se mantendo estável, entre as adições e as perdas de C, os sistemas de produção alteram essa dinâmica aumentando as perdas do C do sistema. Como pode ser observado na figura 1, onde os sistemas de uso do solo apresentaram valores inferiores ao CN. A magnitude nas taxas de ganho ou perda de COT é, portanto influenciada pela quantidade de resíduos adicionados (Bayer e Mielniczuk, 1999), do manejo empregado, da rotação de culturas e da composição mineralógica dos solos (Bayer et al., 2006; Sisti et al., 2004).

Dentre os sistemas agrícolas o ILPF foi o que apresentou a maior concentração de C em todas as camadas estudadas (Figura1). A maior concentração de C desse sistema deve-se ao fato de que, além das pastagens também tem o efeito das árvores, que em conjunto possuem uma elevada capacidade em acumular carbono abaixo da superfície do solo, nas suas raízes (Lal, 2002).

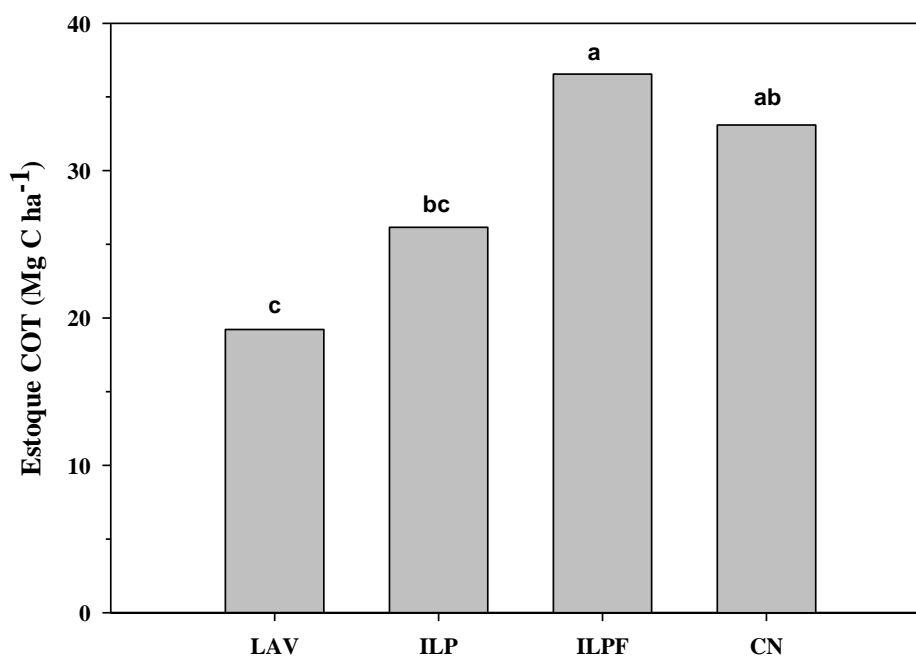
A quantidade de resíduos aportados aos sistemas de ILP e ILPF tanto sobre o solo como abaixo da superfície é diferente de um sistema exclusivo de grãos. As áreas com pastagens possuem uma alta capacidade em estocar C em profundidade devido ao desenvolvimento e a capacidade das raízes em acumular C (Salton et al., 2002; Souza et al., 2008).

O manejo empregado tanto na pastagem bem como no animal determina a maior ou menor capacidade produtiva e conseqüentemente a eficiência do sistema em acumular C. Pastejos com intensidades moderada a alta tem maior potencial em acumular carbono no solo, devido a maior quantidade de resíduos e dejetos aportados em superfície e também pela taxa de renovação da pastagem estimulada pelo pastejo, fazendo com que as raízes se desenvolvam mais e acumulem mais C (Fujisaka et al., 1998), sendo que a capacidade em acumular C vai depender da escolha da rotação de cultura a ser utilizada na área (Nicoloso et al., 2008; Diekow et al., 2005).

Reeder e Schuman (2002) trabalhando com alta intensidade de pastejo numa pastagem natural nos EUA, observaram que ocorreu uma menor seletividade de plantas, ocasionando com isso, uma seleção de plantas com maior capacidade de resistência ao pastejo e com melhores mecanismos de armazenar C, transferindo-o para a interior do solo nas raízes, obtendo assim, maior poder de sequestro de C do que em solos com menor pressão de pastejo.

O estoque de carbono acumulado na camada de 0-20 cm de profundidade foi maior para o CN (33 Mg de C ha<sup>-1</sup>), não apresentando diferença significativa para o ILPF (36 Mg de C ha<sup>-1</sup>) e (ILP 26 Mg de C ha<sup>-1</sup>) e diferindo do sistema LAV que apresentou o menor valor de estoque com (19 Mg de C ha<sup>-1</sup>) (Figura 2). A conversão de sistemas naturais, como florestas e campos nativos, para sistemas agrícolas reduzem os estoques de C (Fujisaka, et al., 1998; Dieckow et al., 2009), como pode ser observado na camada de 0-20 cm (Figura 2).

Mas, por outro lado, sistemas agrícolas sob plantio direto com rotação de culturas podem manter os estoques de C ou até mesmo superar os valores das condições originais (Bayer et al., 2006; Lovato et al., 2004; Carvalho et al., 2009).



**Figura 2.** Estoque de carbono no solo na camada de 0-20 cm, em sistemas de uso sob plantio direto. Ponta Grossa-PR. (LAV = Lavoura anual; ILP = Integração lavoura-pecuária; ILPF = Integração lavoura-pecuária floresta; CN = Campo nativo). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Áreas sob vegetação nativa como as florestas apresentam um grande acúmulo de C, sendo que mais de 80 % desse C encontram-se na parte aérea da floresta (Fujisaka et al., 1998). Já, áreas utilizadas com pastagem apresentam grande quantidade do C nas

raízes (Lal, 2002). Assim, sistemas de produção agrícola que integram pastagens, com floresta e culturas de grãos, rotacionando leguminosas com gramíneas sob plantio direto, tem alto potencial de estocar C no solo, como pode ser observado na figura 2.

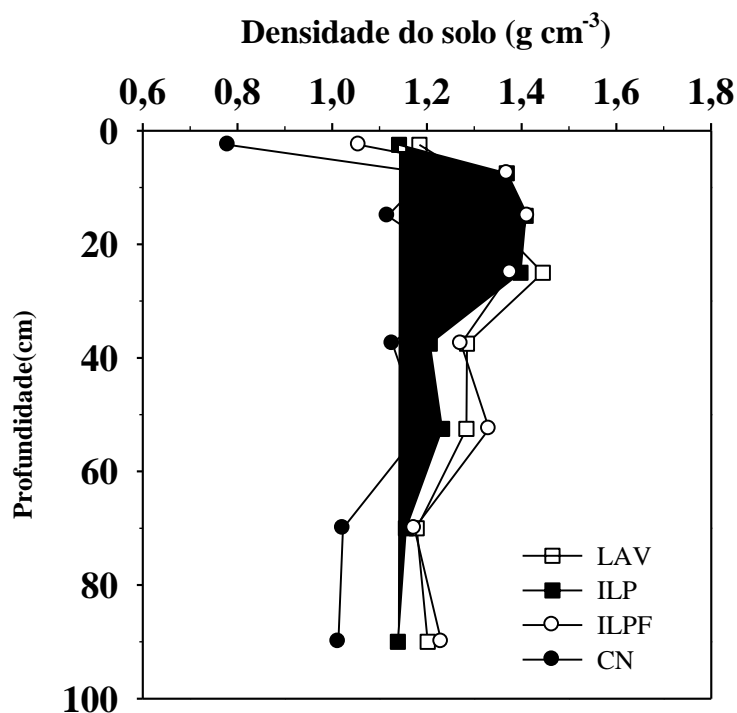
Após um curto período de utilização dos sistemas integrados, apenas cinco anos de implantação das árvores e três anos de utilização com pastejo no inverno, pode-se observar uma condição melhor de solo e uma entrada maior de C em profundidade, principalmente na ILPF com maior desenvolvimento das raízes das árvores, refletindo com isso em maiores estoques de C, comparado com a área de lavoura.

Carvalho (2010) avaliando o estoque de C em diferentes sistemas de uso do solo envolvendo ILP e pastagem permanente no cerrado Brasileiro encontrou após quatro anos de implantação do sistema de ILP um estoque de carbono de  $62,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  na camada de 0-30, superior ao encontrado em área de lavoura com sucessão de culturas  $56,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

A densidade do solo em áreas onde ocorre a mudança de uso da terra, como a conversão de campo nativo para agricultura e pecuária, sofre um aumento logo após essa mudança, devido principalmente à redução na agregação, e pela diminuição dos teores de C (Bayer et al., 2006; Balbino et al., 2002). A densidade média  $0,78 \text{ g cm}^{-3}$  observada para o campo nativo na camada de 0-5 cm está de acordo com valores encontrados em outros trabalhos (Carvalho, 2010; Bayer et al., 2006).

A densidade do solo no CN teve menores valores superficiais comparados aos sistemas de uso, aumentando em profundidade (Figura 3). Esses resultados estão de acordo com os observados na literatura, mostrando que a densidade é menor nas áreas nativas na camada superficial, devido aos maiores valores de C, depositados em superfície e pela maior concentração de raízes, diminuindo em profundidade (figura 1) (Fujisaka et al., 1998; Costa et al., 2009).

A densidade do solo influencia a capacidade do solo estocar C, sendo fortemente influenciada pelo tipo de solo (mineralogia) (Bayer et al., 2006), pela rotação de culturas empregadas com pastagens ou culturas de grãos, pelo tipo de cultura (gramíneas x leguminosas) (Lovato et al., 2004).

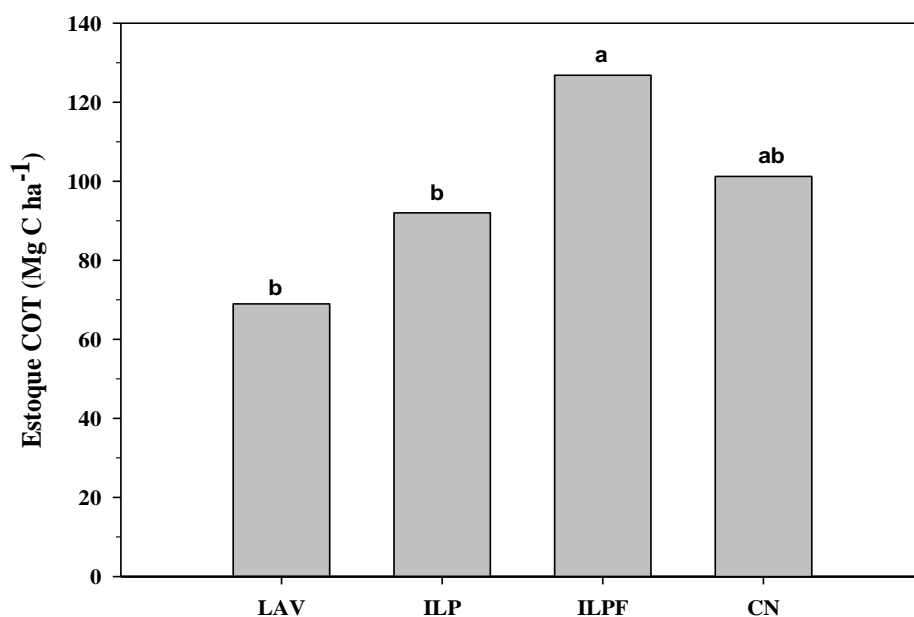


**Figura 3.** Densidade do solo até 100 cm de profundidade, em sistemas de uso sob plantio direto. Ponta Grossa-PR. (LAV = Lavoura anual; ILP = Integração lavoura-pecuária; ILPF = Integração lavoura-pecuária floresta; CN = Campo nativo).

Nas áreas de uso do solo, principalmente com animais, como em sistemas integrados, ocorre um leve adensamento do solo que pode ser até 20 cm de profundidade (Cantarutti et al., 2001). No presente estudo os valores de densidade nos sistemas de uso do solo comparados ao CN, tiveram maiores valores de densidade até a camada de 25 cm (Figura 3). Entre os sistemas de uso do solo, a LAV teve os maiores valores de densidade abaixo dos 20 cm, isto mostra que as pastagens possuem alta densidade radicular, melhorando a agregação do solo, principalmente nos primeiros 50 cm de profundidade, aumentando a capacidade do solo em acumular C nessas camadas (Silva e Mielniczuk, 1997).

O estoque de C na camada de 0-100 cm de profundidade, entre os sistemas de uso do solo sob plantio direto seguiu a mesma tendência observada para 0-20 cm, com o ILPF apresentando o maior valor ( $126 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), não diferindo do CN ( $101 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (Figura 4). Entre os sistemas de uso do solo a ILPF foi a que apresentou o maior estoque de carbono no solo, tendo diferença significativa do ILP ( $92 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), que não

diferiu da LAV (68,9 Mg ha<sup>-1</sup>) (Figura 4).



**Figura 4.** Estoque de carbono no solo na camada de 0-100 cm de profundidade, em sistemas de uso sob plantio direto. Ponta Grossa-PR. (LAV = Lavoura anual; ILP = Integração lavoura-pecuária; ILPF = Integração lavoura-pecuária floresta; CN = Campo nativo). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

A diferença entre o sistema ILPF e a LAV no estoque de C de 0-100 cm de profundidade foi de 57 Mg ha<sup>-1</sup>. Calculando a taxa de sequestro de C, pelos cinco anos de implantação do experimento, encontrou-se um acúmulo de C de 11,7 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A ILP promoveu uma taxa de acúmulo de C 4,7 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Esses valores estão bem acima dos encontrados em outro trabalho no cerrado, em áreas com rotação de culturas e ILP, as quais variaram entre 1,03 a 2,85 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Carvalho, 2010).

A grande diferença entre os valores de acúmulo de C encontrados nesse estudo com outros trabalhos em plantio direto com diferentes sistemas de rotação de culturas (Lovato et al., 2004; Diekow et al., 2005; Bayer et al., 2006), pode estar associado à composição textural do solo, sendo que solos arenosos como o do experimento, são mais susceptíveis a mudanças no estoque de C do que solos argilosos (Bayer et al., 2006). Mas, vale ressaltar, que estes valores de C em sistemas de ILP e, principalmente

em ILPF, precisam ser confirmados em investigações futuras avaliando diferentes condições de solo, de clima e de rotação de culturas.

Os menores valores de densidade do solo associados às concentrações de C em profundidade, que foram muito similares entre o CN e a ILPF, fizeram com que não ocorressem diferenças significativas entre os sistemas de uso ILP e ILPF com o CN. Demonstrando a capacidade do solo sob pastagem em aumentar a agregação e organização dos poros em profundidade, devido ao crescimento e desenvolvimento das raízes, aumentando em áreas onde ocorre a utilização de árvores no sistema. Os agregados maiores e mais estáveis que possuem diâmetro superior a 2 mm foram encontrados na ILPF, seguido do CN e da ILP e LAV (Tabela 1).

Quanto maior o agregado mais estável ele é, e com isso, mais resistente ele fica aos processos degradativos. A maior estabilidade dos agregados nas áreas com rotação com pastagem ocorre devido à ação física das raízes que atuam aproximando as partículas e pela liberação de substância que atuam como agentes cimentantes, além dos maiores valores de C encontrados nesses sistemas (Salton, 2005; Silva e Mielniczuk 1997).

**Tabela 1.** Distribuição relativa (%) da massa de agregados do solo, agrupados em três classes de tamanho, em sistemas de uso sob plantio direto. Ponta Grossa-PR. (LAV = Lavoura anual; ILP = Integração lavoura-pecuária; ILPF = Integração lavoura-pecuária floresta; CN = Campo nativo).

	ILPF	ILP	LAV	CN
Classes de agregados .....	% .....			
	0-5 cm			
> 2	35,98	27,54	25,47	29,09
2 a 0,25	46,77	58,20	53,60	58,07
< 0,25	17,25	14,26	20,93	12,83
	5-10 cm			
> 2	31,04	34,82	28,28	36,68
2 a 0,25	50,02	49,04	53,88	53,17
< 0,25	18,94	16,14	17,84	10,15

## Conclusões

1. Sistemas integrados de produção ILP e, principalmente ILPF, mesmo num curto tempo de implantação, se corretamente manejados, possuem capacidade em acumular C, comparado a um sistema exclusivo de lavoura.

2. A ILP e a ILPF possuem elevada capacidade em acumular C em profundidade, devido principalmente à contribuição do sistema radicular das pastagens e das árvores.

## Referências Bibliográficas

- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; 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*, 25:189-197, 2001.
- BALBINO, L. C.; BRUAND, A.; BROSSARD, M.; GRIMALDI, M.; HAJNOS, M.; GUIMARÃES, M. F. Changes in porosity and microaggregation in clayey Ferrasols of the Brazilian Cerrado. *European Journal of soil science*. 53:219-230, 2002.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research*, 86:237–245, 2006.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.) *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Genesis, p.9-26, 1999.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. ; LOVATO, T. Potencial de sistemas de manejo para incrementar matéria orgânica na região Sul do Brasil. In: *I Simpósio sobre rotação soja/milho no plantio direto*. Piracicaba, POTAFOS, 2001.
- BEARE, M. H.; CABRERA, M. L.; HENDRIX, P. F.; COLEMAAN, D. C. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58:787-795, 1994.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Ed. Madison. 2 ed. Madison, WI, p. 363- 382, 1986.

- BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; Lal, R. Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservations*, 5:382-389, 1999.
- CANTARUTTI, R.B.; NASCIMENTO Jr., D.; COSTA, O.V. Impacto animal sobre o solo: compactação e reciclagem de nutrientes. In: MATTOS, W.R.S., ed.. *A produção animal na visão dos brasileiros*. Piracicaba, FEALQ, p. 826-837, 2001.
- CARVALHO, J. L. N. Dinâmica do carbono e fluxo de gases de efeito estufa em sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia e no Cerrado. 2010. 141 p. (Tese - Doutorado), Programa de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2010.
- CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; HERPIN, N.; CERRI, C. C. Conversion of Cerrado into agricultural land in the south-western amazon: Carbon stocks and soil fertility. *Scientia Agricola*. 66:233-241, 2009.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. ; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistema de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:527-38, 1998.
- COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. da; NACIF, P. G. S.; FARIA, J. C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 33: 1137-1145, 2009.
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P. & KOGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil & Tillage Research*. 81:87-95, 2005.
- DIECKOW, J.; BAYER, C. ; CONCEIÇÃO, P. C. ; ZANATTA, J. A. ; MARTINETO, L. ; MILORI, D. M. B. P. ; SALTON, J. C. ; MACEDO, M. C. M. ; MIELNICZUK, J. ; HERNANI, L. C. . Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. *European Journal of Soil Science* 60:240-249, 2009.
- EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212p, 1997.
- EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Brasília, Embrapa Produção de Informação, 2006. 306p.

- FUJISAKA, S.; CASTILLA, C.; ESCOBAR, G.; RODRIGUES, V.; VENEKLAAS, E. J.; THOMAS, R.; FISHER, M. The effects of forest conversion on annual crops and pasture: Estimates of carbon emissions and plant species loss in Brazilian Amazon colony. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 69:17-26, 1998.
- LAL, R.; Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environmental pollution*, 116:353-362, 2002.
- LAL, R. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 22:151-184, 2003.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com o rendimento de milho e estoques destes elementos no solo em sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:175-187, 2004.
- MAACK, R. Notas preliminares sobre clima, solos e vegetação do Estado do Paraná. Curitiba, *Arquivos de Biologia e Tecnologia*. 2:102-200, 1948.
- MORAES, A. LESAMA, M. F.; ALVES, S. J. Lavoura-pecuária em sistemas integrados na pequena propriedade. In: Encontro Latino Americano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade, 3., 1998, Pato Branco. Anais. Pato Branco: CEFET-PR, 1998. CD-ROM.
- NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M.E. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:2425-2433, 2008.
- PAVEI, M. A. Decomposição de resíduos culturais e emissão de gases do efeito estufa em sistemas de manejo do solo em Ponta Grossa (PR), 2005. 114p. (Dissertação - Mestrado), Programa de pós-graduação em ecologia de agroecossistemas, Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2005.
- REEDER, J. D.; SHUMAN, G. E. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed grass and short-grass rangelands. *Environmental Pollution*, 116: 457-463, 2002.
- SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a brazilian oxisol. *Soil Science Society of America Journal*, 65:1486-1499, 2001.
- SALTON, J.C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical. 2005. 158p. (Tese - Doutorado), Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2005.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilidade de agregados do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:113-117, 1997.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, 76:39-58, 2004.

SHUMAN, G. E.; JANZEN, H. H.; HERRICK, J. E. Soil dynamics and potential carbon sequestration. *Environmental Pollution*. 116:391-396, 2002

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dinâmica dos gases de efeito estufa é controlada pelo fluxo ou influxo desses gases do solo. Sistemas agrícolas exercem papel fundamental no balanço de C-CO<sub>2</sub>, sendo assim, sistemas de uso e manejo do solo se tornam peças fundamentais para aumentar a capacidade de mitigação desses gases nos solos. Todavia, no Brasil cresce a utilização de sistemas integrados de produção, baseados no plantio direto com rotação de culturas. Esses sistemas são comprovadamente mais produtivos e tornam a propriedade mais eficiente.

Com relação à dinâmica dos gases nos sistemas integrados de produção, pode-se observar que são fortemente influenciados pelo manejo do solo e da pastagem. Os sistemas de uso e manejo do solo, baseados dentro do preceito de boas práticas agrícolas, que envolvam cobertura morta do solo, rotação de culturas e práticas de conservação promovem uma condição melhor de solo, a qual reflete em uma menor taxa de emissão de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>. Comparando as áreas somente de lavoura com as áreas de integração, observou-se que a contribuição das pastagens, principalmente pelo maior desenvolvimento radicular e maior acúmulo de C, condiciona o solo desse sistema para que ele se torne um dreno de CH<sub>4</sub> e de N<sub>2</sub>O da atmosfera.

Ocorreram picos isolados de emissão em função da entrada no sistema de N mineral, que juntamente com elevados teores de água promoveram maiores emissões, tanto de N<sub>2</sub>O como de CH<sub>4</sub>. Evidenciando assim que, os fatores que exercem forte influência na dinâmica dos gases são o conteúdo de N mineral no solo, a quantidade de água e as condições estruturais do solo.

O diferencial apresentado pelos sistemas integrados em relação à lavoura, especialmente no que se refere ao sistema ILPF, que engloba o componente arbóreo, é que estes possuem uma elevada capacidade em melhorar as propriedades físicas como porosidade e agregação, tornando assim, o sistema mais eficiente.

Os sistemas de produção que possuem os componentes pastagem e animal aumentam a eficiência de utilização do N-mineral no solo, como pode ser observado no trabalho. Uma vez que esse nitrogênio fica menos tempo no solo, diminuindo a possibilidade de ser perdido na forma de N<sub>2</sub>O por nitrificação ou em maiores valores por desnitrificação. Mostrando que esses sistemas tornam a propriedade mais

sustentável, diminuindo a entrada de insumos, pela maior eficiência de utilização dos recursos naturais, aliados a maior preservação do meio ambiente.

Assim, aliado aos inúmeros benefícios já sabidos dos sistemas integrados, estes também apresentam como fator primordial a capacidade em acumular C no solo, sendo uma ferramenta importante na mitigação dos gases de efeito estufa.

Contudo cabe ressaltar que, os sistemas de produção integrados possuem uma contribuição significativa na emissão dos GEE por parte dos dejetos depositados no solo. Para o presente estudo a deposição do esterco dos animais teve grande contribuição para a emissão de CH<sub>4</sub>, já a contribuição da urina para a emissão de N<sub>2</sub>O não foi tão significativa.

Por isso, deve-se buscar entender melhor a dinâmica da emissão proveniente dos dejetos, avaliando diferentes tipos de animais, com dietas diferentes e em regiões diferentes. Isso é necessário para identificar os principais fatores que controlam essas emissões, e também para verificar qual é a real contribuição dos dejetos para a emissão de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, a fim de, criar um fator de emissão específico para cada região.

Para que assim, possamos fechar um balanço final de gases com as entradas e saídas do sistema e verificar qual é o sistema que tem maior ou menor potencial de aquecimento global.

## 6. APÊNDICES



**Fotos 1 e 2.** Vista geral do conjunto das câmaras de coleta de GEE, ligadas a bateria portátil. A base de metal é inserida no solo e permanece o tempo todo no local. Seringas de coleta são acopladas no topo da câmara. Na parte inferior a um ventilador acoplado para homogeneizar o ar durante a coleta.



**Fotos 3 e 4.** Vista geral do experimento em Ponta Grossa-PR, na área de ILPF no verão de 2010 com soja e no inverno de 2011 com a aveia.



**Figuras 5 e 6.** Coleta de solo para análise de carbono, Ponta Grossa-PR, 2011.



**Figuras 7 e 8.** Vista geral do experimento, com as parcelas com e sem pastejo, Guarapuava-PR, 2010.

## RESUMO BIOGRÁFICO

Jonatas Thiago Piva, filho de Hilário e Leocirse Piva, nasceu em 13 de Julho de 1985, em Dois Vizinhos (PR). Viveu a infância na cidade, mas teve contato direto com o interior devido à família ser oriunda do campo. Coursou as séries iniciais (1ª até a 4ª) na Escola Municipal 28 de Novembro, Dois Vizinhos (PR) e completou os estudos do ensino fundamental e médio na Escola Estadual Dois Vizinhos (PR). Em 2003 ingressou no curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco - “UTFPR”, graduando-se no ano de 2007. De fevereiro de 2008 a fevereiro de 2010, realizou o Curso de Mestrado em Ciência do Solo, na área de Pedologia e Manejo do solo, sob orientação do Prof. Jeferson Dieckow, no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná – “UFPR”. Em março de 2010 iniciou o curso de Doutorado, no programa de pós-graduação em produção vegetal da Universidade Federal do Paraná – “UFPR” linha de pesquisa em sistemas integrados, com orientação do Prof. Anibal de Moraes e Co-orientação do Prof. Jeferson Dieckow, sendo finalizado em Março de 2012. Desde Abril de 2010 é professor substituto da UTFPR campus Pato Branco, atuando nas disciplinas de Manejo e Conservação e Física do Solo. Professor do curso de Agronomia da Faculdade Unisep, Dois Vizinhos, desde fevereiro de 2011, lecionando as disciplinas de Fertilidade do solo, Nutrição Mineral de Plantas e Recursos Naturais. É membro da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo desde 2008.