

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

MAICO PERGHER

**EMIÇÃO DE ÓXIDO NITROSO E METANO DO SOLO E DE DEJETOS BOVINOS
EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO COM ILP E ILPF**

CURITIBA

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

MAICO PERGHER

**EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO E METANO DO SOLO E DE DEJETOS BOVINOS
EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO COM ILP E ILPF**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow
Co-orientadores: Prof. Dr. Jonatas Thiago Piva
Prof. Dr. Volnei Pauletti

CURITIBA

2014

Aos meus pais, Olivio Celso Pergher e Geltrudez Azzolini Pergher pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

DEDICO

III

Agradecimentos

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, pela oportunidade de realizar este trabalho e ao CNPQ, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Jeferson meu orientador e grande amigo, que sempre acreditou em mim, pelas palavras de incentivo, sempre muito empolgado com o desenvolvimento dos trabalhos, por todos os ensinamentos ao longo desses 7 anos de pesquisa.

Aos professores: Antonio Motta, Fabiane Vezzani, Karina Cavallieri, Marcelo de Lima, Nerilde Favaretto, Volnei Pauletti, Renato Marques e Volnei Pauletti, pelo empenho e dedicação com que passaram seus conhecimentos.

A Josileia Zanatta, pelas colaborações e discussões inovadoras em reação ao trabalho.

Ao Jonatas pelo apoio, incentivo e parceria no desenvolvimento do trabalho.

Ao Murilo meu colega e grande amigo, que esteve presente em todos os momentos durante destes dois anos, agindo com compreensão diante das minhas manias, me ajudando no campo, laboratório, nas disciplinas, em todas as discussões que tivemos, tornando este período muito mais profícuo e feliz.

Ao Reinaldo, pela amizade e ajudas a campo, no laboratório, nos trabalhos das disciplinas ou nas discussões, sempre muito disposto e bem humorado.

Aos colegas da pós-graduação, em especial aos potassianos Bruna, Giovana, Leticia Murilo, Reinaldo e Thiago, pela grande amizade, pelas discussões durante o cafezinho, pelos bons momentos de descontração compartilhados.

Aos estagiários, Anderson, Bruna, Bruno, Diego, Felipe, Júlia, Michael, Silvia, Welison e Wiliam pela ajuda no laboratório e principalmente a campo, nas inúmeras coletas de solo e gases e pelo empenho e seriedade com que executavam as atividades.

Aos meus tios Ivete e Sergio que me acolheram em sua casa como praticamente um filho por mais de sete anos e aos meus primos Lucas Raul e Gustavo, pela amizade e convivência harmoniosa ao longo de todo este tempo.

Ao meu irmão Rafael com quem sempre pude contar para superar qualquer problema, sempre com muita alegria e bom humor.

Aos meus pais Olivio e Geltudes que sempre incentivaram, apoiaram e deram liberdade, permitindo que eu trilhasse meu próprio caminho.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos específicos	5
2. MATERIAL E MÉTODOS	6
2.1 EMISSÃO DE N ₂ O E CH ₄ A PARTIR DO SOLO	6
2.1.1 Área experimental	6
2.1.2 Tratamentos	6
2.1.3 Avaliação da emissão de N ₂ O e CH ₄	7
2.1.4 Avaliação da emissão de N ₂ O e CH ₄ na ILPF	9
2.1.5 Atributos do solo	9
2.1.5.1 Porosidade preenchida com água	9
2.1.5.2 Nitrogênio inorgânico do solo	10
2.1.5.3 Temperatura do solo	10
2.1.6 Avaliação dos resíduos culturais	10
2.2 EMISSÃO DE N ₂ O E CH ₄ A PARTIR DE DEJETOS BOVINOS	11
2.2.1 Área experimental e tratamentos	11
2.2.2 Caracterização da urina e esterco	12
2.2.3 Fator de emissão de N ₂ O e CH ₄ da urina e esterco	13
2.3 CONTRIBUIÇÃO DOS DEJETOS, NA EMISSÃO DOS SISTEMAS INTEGRADOS	13
2.4 EMISSÃO GLOBAL DE N ₂ O E CH ₄ DO SOLO	14
2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	15
3. RESULTADOS	16
3.1 EMISSÃO DE N ₂ O E CH ₄ A PARTIR DO SOLO	16
3.1.1 Óxido nitroso	16
3.1.2 Metano	18
3.1.3 Atributos do solo	21
3.1.3.1 Porosidade preenchida com água	21
3.1.3.2 Nitrogênio inorgânico do solo	22
3.1.3.3 Temperatura do solo	24
3.1.4 Resíduos culturais	24
3.2 EMISSÃO A PARTIR DE DEJETOS BOVINOS	25
3.2.1 Óxido nitroso	25
3.2.2 Metano	27
3.2.3 Fator de emissão de N ₂ O e CH ₄ da urina e esterco bovino	29
3.4 EMISSÃO GLOBAL DE N ₂ O E CH ₄ DO SOLO	29
4. DISCUSSÃO	31
5. CONCLUSÕES	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO E METANO DO SOLO E DE DEJETOS BOVINOS EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO COM ILP E ILPF

Autor: Maico Pergher

Orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

Co-Orientador: Prof. Dr. Jonatas Thiago Piva

Prof. Dr. Volnei Pauletti

RESUMO

A adoção de sistemas integrados de produção, como lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta, vem crescendo consideravelmente no Brasil, porém informações sobre emissões de gases de efeito estufa (GEE) nos mesmos é escassa. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de redução de emissão de oxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4) a partir do solo em sistemas integrados. Dois experimentos de campo foram conduzidos. No primeiro, localizado em Ponta Grossa-PR e com idade de seis anos, fluxos de N_2O e CH_4 a partir do solo foram medidos em três sistemas de uso do solo em plantio direto: lavoura com aveia preta + azevém no inverno (cobertura) e soja no verão (LAV); integração lavoura-pecuária, com pastejo da aveia preta + azevém (ILP); integração lavoura-pecuária-floresta, também com pastejo e mais inclusão de eucalipto (ILPF); e campo nativo (CN). As medições de fluxos pelo método de câmara estática e cromatografia gasosa foram feitas de junho de 2012 à outubro de 2013. Picos de emissão de N_2O ocorreram após a aplicação de uréia na aveia+azevém e, principalmente, durante a senescência da soja ($160 \mu g N m^{-2} h^{-1}$). A emissão acumulada de N_2O na ILP ($1,65 kg N ha^{-1} ano^{-1}$) não superou a de LAV ($1,89 kg N ha^{-1} ano^{-1}$), porém na ILPF foi reduzida pela metade ($0,57 kg N ha^{-1} ano^{-1}$), sob influência principalmente da porosidade preenchida com água e concentração de N-inorgânico em 0-5 cm. A emissão de CH_4 a partir do solo não foi afetada pelos sistemas. No segundo experimento, localizado em Curitiba-PR, foram avaliados durante 55 dias, os fluxos de N_2O e CH_4 a partir de urina e esterco de bovinos aplicados no solo. A aplicação de urina elevou a taxa de emissão inicial-basal de $5,9 \mu g N-N_2O m^{-2} h^{-1}$ para um pico de $3.434 \mu g N-N_2O m^{-2} h^{-1}$ após 5 dias, mas no 17º dia esta taxa alcançou novamente o nível basal. A emissão de N_2O a partir do esterco foi 7 vezes menor em relação a da urina, mas este dejetos contribuiu consideravelmente para emissão de CH_4 (pico de $12.329 \mu g C m^{-2} h^{-1}$ no 5º dia). A urina não contribuiu com emissão

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (48 p.) Fevereiro, 2014

de CH₄. O fator de emissão de N-N₂O da urina foi 0,57 % e superior ao do esterco (0,11 %). Com informações de N₂O e CH₄ de ambos os experimentos foi calculada a emissão N₂O e CH₄ global, expressa em C-CO₂-eq. Na ILP, mesmo com a contribuição dos dejetos, a emissão global de 241 kg C-CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹, não diferiu da LAV (232 kg C-CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹), mas na ILPF, mesmo com os dejetos a emissão foi reduzida pela metade (102 kg C-CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹). A ILPF é uma alternativa para a mitigação da emissão de N₂O e CH₄ a partir do solo e dejetos, possivelmente devido ao componente arbóreo, presente no sistema.

Palavras-chave: Pastagem. Nitrogênio. Gases de efeito estufa.

NITROUS OXIDE AND METHANE EMISSION FROM SOIL AND CATTLE MANURE IN INTEGRATED PRODUCTION SYSTEMS WITH ILP AND ILPF

Author: Maico Pergher

Advisor: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

Co- Advisor: Prof. Dr. Jonatas Thiago Piva

Co- Advisor: Prof. Dr. Volnei Pauletti

VII

ABSTRACT

The adoption of integrated production systems, as crop-livestock and crop-livestock-forest is growing considerably in Brazil, but in spite of that, information related on greenhouse gases (GHG) emission information in them is scarce. The aim of this study was to evaluate the potential for reducing nitrous oxide (N₂O) and methane (CH₄) emissions from soil in integrated systems. Two field experiments were conducted. In the first, one located in Ponta Grossa-PR and aged six years, N₂O and CH₄ fluxes from soil were measured in three land use systems in no-till: tillage with oat + ryegrass in winter (cover crop) and soybean in summer (LAV); crop-livestock integration, with grazing of oat + ryegrass (ILP); crop-livestock-forest integration, with grazing and also inclusion of eucalyptus (ILPF); and natural pasture (CN). Flux measurements by static chamber method and gas chromatography were made from June 2012 to October 2013. N₂O emission peaks occurred after urea application on oat + ryegrass and especially during senescence of soybean (160 µg N m⁻² h⁻¹). The cumulative N₂O emission in ILP (1,7 kg N ha⁻¹ yr⁻¹) did not surpass that of LAV (1,9 kg N ha⁻¹ yr⁻¹), but in ILPF it was reduced for half (0,6 kg N ha⁻¹ yr⁻¹), mainly under the influence of water filled porosity space and N-inorganic concentration at 0-5 cm. The CH₄ emission from soil was not affected by the systems. In the second experiment, located in Curitiba-PR, N₂O and CH₄ fluxes from urine and manure bovine applied to the soil, were evaluated during 55 days. The urine application increased the background emission rate of 5,9 µg N-N₂O m⁻² h⁻¹ to a peak of 3434 µg N-N₂O m⁻² h⁻¹ after 5 days, but in the 17th day this rate returned to the baseline. The N₂O emission from manure was 7 times less than in the urine, but this manure contributed considerably to CH₄ emission (peak of 12329 µg C m⁻² h⁻¹ in 5th day). Urine did

VIII

¹ Soil Science Master Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (48 p.) March, 2014.

not contributed to CH₄ emission. The emission factor for N-N₂O in urine was 0,57 %, and higher than in manure (0,11 %). Considering information from N₂O and CH₄ annual emission from soil and manure, we calculated N₂O and CH₄ global emission in C-CO₂-eq. In ILP, even with excreta contribution, the global emission of 241 kg C-CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ was not different from LAV (232 kg C-CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹), but ILPF, even with the excreta, was reduced for half (102 kg C-CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹). The ILPF has been shown as a possible alternative to mitigate the N₂O and CH₄ emission from soil and excreta mainly due effects of the tree component, present in the systems.

Key-words: Grassland. Nitrogen. Greenhouse gases.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas que ocorrem no planeta nas últimas décadas são decorrentes principalmente do aquecimento global, causado pela intensificação do efeito estufa. O efeito estufa é um fenômeno natural que ocorre na atmosfera e mantém a temperatura média do planeta entre 15 e 18° C. Sem esse fenômeno, a temperatura do planeta seria 30 °C mais fria (Valverde et al., 2004). que este pode acarretar. Mas segundo estimativas do IPCC (2000), o aquecimento global pode elevar a temperatura em 1,8 e 6,4 °C até o ano de 2100, aumentando a ocorrência e a intensidade de eventos extremos, como seca e tempestades, chuvas concentradas, elevação do nível dos oceanos e inundação de áreas costeiras, além de reduzir a área apta para cultivo da maioria das culturas. Onze dos doze anos compreendidos entre 1995 e 2006 já figuram entre os mais quentes da superfície terrestre desde 1850 (IPCC, 2007).

Os principais gases do efeito estufa (GEE) são o dióxido de carbono (CO₂), óxido nítrico (N₂O) e o metano (CH₄), tendo os dois últimos um potencial de aquecimento 296 e 25 vezes superiores ao do CO₂, respectivamente (IPCC, 2007; Houghton et al., 2001). A concentração dos gases na atmosfera era relativamente estável até o início da Revolução Industrial, quando as ações antropogênicas tornaram-se mais intensas e passaram a aumentar a concentração dos GEE na atmosfera. Resultado do uso de combustíveis fósseis, como o petróleo e o carvão mineral, aumento de poluição industrial, mudança no uso da terra, queima de florestas e uso irracional dos recursos naturais (MCT, 2010), a concentração do N₂O na atmosfera passou de 287 para 311 ppb, e a de CH₄ de 0,8 ppb para 1,74 ppb (IPCC, 2007; Solomon, 2007; Khalil et al., 2002).

No mundo a agricultura contribui com cerca de 10-12% da emissão antropogênica dos GEE, sendo responsável por 47% de CH₄ e 58% do N₂O (Houghton et al, 2001; Smith et al., 2007). No Brasil, entretanto, as atividades agropecuárias, juntamente com as mudanças no uso das terras contribuem com 71% das emissões CH₄ e 87% das emissões de N₂O (MCT, 2010).

A contribuição da agricultura brasileira na emissão dos GEE é devida as práticas inadequadas de uso do solo, da expansão das fronteiras agrícolas com o uso de queimadas e derrubada de florestas, preparo convencional com excessivo revolvimento do solo, pecuária extensiva com baixa produtividade animal e uso de fertilizantes nitrogenados (MCT, 2010).

No Brasil, emissões de N_2O ocorrem principalmente com deposição de dejetos de animais em pastagem e em menor escala, pela aplicação de fertilizantes em solos agrícolas (MCT, 2010), onde as emissões de N_2O do solo reguladas pela nitrificação e desnitrificação (Gomes, 2006). A nitrificação é a oxidação biológica do íon amônio (NH_4^+) a nitrato (NO_3^-), por bactérias quimioautotróficas (Zanatta, 2009), relacionada à redução de compostos intermediários entre NH_4^+ e o nitrito (NO_2^-), como o NH_2OH e o próprio N_2O (Robertson & Groffman, 2006). No entanto as maiores emissões ocorrem em condições anaeróbicas, quando prevalece a desnitrificação, onde os íons NO_2^- e NO_3^- são reduzidos a óxido nítrico (NO), N_2O ou nitrogênio elementar (N_2) (Gomes, 2006). A emissão de N_2O do solo aumenta significativamente após a deposição de urina pelos animais (Williams et al., 1999).

Em pastagens, a emissão de N_2O está relacionada com a quantidade de esterco e urina depositados e com a concentração de nitrogênio nestes dejetos (Groenigen et al., 2005). O fator de emissão de N- N_2O é a razão entre quantidade de N perdida na forma de N_2O e a quantidade de N total adicionada ao solo via dejetos (de Klein et al., 2003). Este fator é utilizado para elaboração de inventários de emissão de N_2O , sendo que o IPCC (2006) recomenda a utilização de um fator médio, para excretas de bovinos de 2% do N aplicado com variações de 0,7 a 6% (IPCC, 2006). Mas estes fatores de emissão propostos pelo IPCC foram obtidos em experimentos, conduzidos no hemisfério norte.

O fator de emissão de 2 % foi determinado em regiões de clima temperado e não considera variação climática, de solo, de dejetos e de animais de outras regiões do globo, que afeta diretamente os fluxos de emissão de N_2O e CH_4 . Para obter fatores condizentes com o

clima, solo e dejetos de cada região do globo faz-se necessário elaborar novos estudos e no Brasil é de suma importância que seja feito. Pois, o Brasil possui o segundo maior rebanho do mundo, com mais de 205 milhões de cabeças (IBGE, 2010) e é signatário da Convenção Quadro da ONU sobre Mudança do Clima tendo o compromisso de elaborar e atualizar o inventário nacional de emissão de GEE.

A emissão de CH_4 a partir do solo é regulada pela atividade biológica em condição de restrição de O_2 , com potencial redox abaixo de 200 mV, onde bactérias metanogênicas anaeróbicas oxidam compostos orgânicos produzindo CH_4 . Enquanto na presença de O_2 , as bactérias metanotróficas aeróbicas utilizam o CH_4 como fonte de energia e carbono (Gomes, 2006). Outro fator que influencia a oxidação do CH_4 é o amônio (NH_4^+). Devido à competição do íon NH_4^+ com o CH_4 pela enzima mono-oxygenase, sendo que após adubações nitrogenadas elevadas, ocorre no solo maior concentração de NH_4^+ disponível. Com isso, o íon irá atuar como inibidor da oxidação de CH_4 nos solos, por competir pela enzima (Bodelier et al., 2004; Boeckx et al., 1997).

Dependendo das suas condições físicas, químicas e biológicas o solo pode exercer papel de fonte ou dreno de CH_4 para atmosfera (Piva, 2012). Em pastagens, a emissão de CH_4 pode estar associada à maior retenção de água pelo solo e formação de sítios de anaerobiose causados principalmente pelo pisoteio de animal (Cardoso, 2012). Porém, em áreas de pastagem a deposição dos dejetos, principalmente esterco é possivelmente o que mais contribui para as emissões de CH_4 no solo (MCT, 2010).

Dentre as características físicas, a densidade do solo afeta diretamente a aeração do solo. Maior densidade do solo pode reduzir a difusão de O_2 em períodos de chuvas e favorecer a geração de N_2O e CH_4 (Ball et al., 1999). O não revolvimento do solo em plantio direto favorece a formação de microporos em comparação a macroporos. Condições de alta

porcentagem de poros preenchidos por água (PPA), (alta umidade) e temperatura estimulam a atividade das bactérias anaeróbicas desnitrificadoras e metanogênicas (Gomes, 2006).

Para mitigar a emissão de GEE em sistemas agrícolas, é necessário reduzir a emissão direta de N_2O e CH_4 e aumentar o sequestro de carbono no solo (Kimble et al., 2001). Nesse contexto, as atividades agrícolas destacam-se pela flexibilidade econômica e operacional para reduzir a sua contribuição ao efeito estufa antrópico (Costa, 2005). Os sistemas integrados de produção (integração lavoura pecuária – ILP; integração lavoura pecuária – ILPF) são alternativas para aumentar produção por área, resultando em menor emissão de GEE por unidade de produto (grão, carne, fibra, madeira) gerado (IPCC, 2007).

No Brasil, com a busca da otimização do uso da terra, cresce a utilização de sistemas integrados de produção, principalmente a ILP. Devido as vantagens da integração, como a otimização no uso da infra-estrutura e da mão-de-obra, diversificar a produção, minimizar custos e os riscos e agregar valores aos produtos agropecuários, diluir os riscos e agregar valores aos produtos agropecuários (Mello et al., 2004; Cassol, 2003). Na região Sul a ILP praticada tem como característica o cultivo de soja e milho no verão, e o cultivo de aveia e azevém no inverno utilizado para o pastejo.

A ILPF é um sistema recente que também está sendo adotado no Brasil, onde junto à produção de grãos e animais, ocorre a inclusão de mais um fator ou cultura: as árvores. A ILPF, além das vantagens da ILP, melhora a ambiência para os animais, promove maior ciclagem de nutrientes pelas raízes das árvores que exploram maiores profundidades, melhora o retorno econômico com a venda das árvores, (Embrapa, 2011). Mas do ponto de vista ambiental pouco se conhece deste sistema, que é tido com conservador ou mais sustentável, principalmente, em relação a emissão de N_2O e CH_4 .

No sistema de ILPF o sombreamento proporcionado pelas árvores é tido como principal responsável, para a mitigação da emissão de N_2O e CH_4 . No então é necessário

descobrir todos os feitos, além da redução da temperatura ambiente causada pelo sombreamento, que pode impactar uma possível mitigação destes gases, pelo sistema. A maior ciclagem de nutrientes, dentre eles principalmente o nitrogênio e água feita pelas árvores foi destacada por Piva (2012), com sendo outros benefícios da ILPF, que pode levar a uma mitigação da emissão, mas ainda faltam esclarecimentos, em relação a estes fatores.

1.1 Objetivos Específicos

Avaliar o potencial de sistemas integrados de produção (ILP e ILPF), em relação ao sistema de lavoura exclusivo, em mitigar emissão de óxido nitroso e metano do solo.

- Avaliar a contribuição dos dejetos bovinos, na emissão de oxido nitroso e metano, na integração lavoura pecuária e integração lavoura pecuária floresta.

Avaliar a emissão de óxido nitroso e metano em sistemas de uso do solo para entender a influencia que o nitrogênio do solo e a porosidade preenchida por água possuem na de emissão destes gases.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 EMISSÃO DE N₂O E CH₄ A PARTIR DO SOLO

2.1.1 Área experimental

O trabalho foi realizado em experimento de campo instalado em 2006, em área de 12,9 ha, pertencente a Fazenda Modelo do IAPAR, em Ponta Grossa, PR, no segundo planalto paranaense, em uma altitude de 973 m, com coordenadas 25° 07' 23,6'' S e 50° 02' 53,9 W. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb e a precipitação média anual de 1500 mm.

O solo da área é classificado como uma associação de Latossolo, em relevo suave ondulado, e Cambissolo Háplico, em relevo ondulado, a textura é franca argilo arenosa, com 250 g kg⁻¹, 650 g kg⁻¹ e 100 g kg⁻¹ de argila, areia e silte, respectivamente. A diferença entre os solos foi respeitada durante a divisão da área em blocos, onde dois blocos estão no Latossolo e o terceiro bloco está no Cambissolo Háplico.

Antes da implantação do experimento, a vegetação da área era campo nativo típico, vegetação nativa da região dos Campos Gerais do Paraná, mantido sob pastejo e manejado 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. 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.

2.1.2 Tratamentos

O experimento consistiu de três sistemas de uso do solo, em delineamento de blocos ao acaso, com três repetições:

Lavoura: No inverno é semeado em consórcio aveia preta (*Avena strigosa*) + azévem (*Lolium multiflorum*), servindo unicamente de cobertura morta para cultura do milho (*Zea mays*) ou soja (*Glycine Max*), cultivada no verão em sistema de plantio direto. No inverno, o consórcio recebe aplicação de nitrogênio N na dose 90 kg N ha⁻¹. As culturas são implantadas e conduzidas seguindo as recomendações técnicas da região.

ILP: Integração lavoura-pecuária, com aveia preta + azevém, sendo pastejada no inverno por novilhas da raça Purunã, de Julho a Outubro, em um sistema contínuo de pastejo com carga variável. Também recebe aplicação de (N), sendo no verão cultivado com as mesmas culturas do tratamento lavoura, milho ou soja em sistema de plantio direto.

ILPF: Integração lavoura pecuária floresta, semelhante à ILP, porém, a área é intercalada com fileiras de árvores dispostas 3 m entre plantas e 14 m entre fileiras. As espécies florestais são eucalipto (*Eucalyptus spp*) e grevilea (*Grevillea robusta*), disposta de forma intercalada.

CN: Campo nativo é a vegetação natural da região, condição original da área antes da implantação do experimento. Será avaliado como sistema de referência.

2.1.3 Avaliação da emissão de N₂O e CH₄

As avaliações de emissão foram feitas utilizando um conjunto de câmara e base estática fechada. Cada câmara foi constituída de um cilindro (35 cm de altura x 33 cm de diâmetro) fechado na parte superior e assentado, somente durante as coletas, sobre uma base de metal de mesmo diâmetro, previamente cravada no solo dentro de uma mini parcela de 2,25 m² (1,5 X 1,5 m). Em cada parcela foram delimitada duas mini parcelas. A base de metal foi mantida nas mini parcelas durante todo o ciclo de avaliação, sendo retirada apenas para semeadura, e recolocadas em seguida. No interior das câmaras foi acoplado um ventilador, acionado por uma bateria, para homogeneizar o ar no momento da coleta das amostras.

Cada evento de coleta de ar foi iniciado às 9:00 horas, momento que as câmaras eram acopladas sobre as bases. Nesse momento, também foi coletado a primeira amostra de ar, de uma série de quatro, em cada câmara. Para coleta foi utilizada uma seringa de polipropileno de 10 mL, equipada com uma válvula de fechamento no orifício de saída. As amostras foram coletadas a partir de uma válvula situada no topo da câmara, com intervalo de 15 minutos entre as coletas. A coleta ocorria de forma simultânea, nas duas câmaras, instaladas dentro da parcela.

Logo após o término da coleta, as amostras de ar contidas nas seringas foram transferidas para frascos de vidro hermeticamente fechados e previamente evacuados. Neste momento eram transferidas, as duas amostras contidas nas seringas, coletadas da mesma parcela, no mesmo tempo, formando uma amostra de ar composta. Os frascos garantiram perfeita conservação das amostras, evitando perdas e contaminações, além de facilitar o transporte. Em seguida, as amostras de ar eram enviadas para análise no Laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Porto Alegre-RS). A determinação da concentração de N_2O e CH_4 foi feita via cromatografia gasosa pelo equipamento Shimadzu - GC 2014. O cromatógrafo é equipado com dois detectores: (i) detector de ionização de chama (FID), para avaliação de CH_4 ; e (ii) detector de captura de elétrons (ECD), para avaliações de N_2O .

As avaliações da emissão de GEE tiveram início no dia 23 de julho de 2012, e se estenderam até o dia 10 de outubro de 2013. Foram feitas 33 coletas de amostras ar, no período que compreendeu dois ciclos de pastejo, no inverno e um ciclo da cultura agrícola no verão, no caso a soja. Os intervalos entre as coletas foram variáveis dependendo da proximidade, que eram considerados críticos, para a emissão de GEE, como plantio, aplicação de fertilizante nitrogenado e senescência da cultura da soja.

2.1.4 Avaliação da emissão de N₂O e CH₄ na ILPF

A avaliação da emissão na ILPF, além dois pontos dentro das mini parcelas, também foi avaliado em três transectos dispostos um cada bloco. Estes transectos consistiram de uma linha de avaliação, formada por cinco pontos dispostos, esta linha transversal a linha de árvores. O ponto 1 (P1) localizado junto a linha de arvore superior (P1) e o P5 junto a linha de arvore inferior (P5); os pontos P2 e P4 localizados nos terços médios da faixa de cultivo e o P3 no centro da faixa de cultivo. As avaliações nos transecto foram feitas mensalmente e seguindo os mesmos procedimentos de coleta de ar descritos anteriormente.

2.1.5 Atributos do solo

Foram avaliados atributos do solo, que supostamente influenciam as emissões de N₂O e CH₄, porosidade preenchida por água, teor de nitrogênio inorgânico e a temperatura do solo.

2.1.5.1 Porosidade preenchida com água

Para determinar a porosidade preenchida com água, em cada avaliação de emissão de N₂O e CH₄, também foi avaliado da umidade do solo. Uma amostra composta de solo (de quatro sub-amostras) foi coletada, com o auxílio de um trado calador na camada de 0-5 cm. Para a determinação da umidade gravimétrica as amostras foram secadas em estufa a 105 °C. A umidade foi obtida pela razão entre a massa da amostra seca pela da amostra úmida, expressa em kg Kg⁻¹.

Para calcular a PPA, foi necessário, fazer também a avaliação da densidade do solo, esta feita antes da semeadura da cultura de verão, em novembro de 2012. Com auxílio de um gabarito de metal de 25 x 50 x 5 cm, foi retirado amostras de solo, na camada de 0-5 em dois pontos por parcela. A densidade do solo foi calculada com base na massa de solo seco retirada do gabarito, considerando densidade de partículas de 2,65 kg dm⁻³ e volume do gabarito (6,25

dm⁻³) (Embrapa, 1997). Com base nos valores de umidade gravimétrica e densidade do solo, foi calculada a porosidade preenchida por água (PPA em %) através da equação 1:

$$\text{PPA} = [(w \times \rho_s) / (1 - \rho_s / \rho)] \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo: - **w**: umidade gravimétrica (kg kg⁻¹);

- **ρ_s**: densidade do solo (Mg m⁻³);

- **ρ**: densidade de partícula, 2,65 (Mg m⁻³).

2.1.5.2 Nitrogênio inorgânico do solo

Em cada coleta de amostra de ar, amostras de solo da camada 0-5 cm também eram coletadas com trado calador para análise da concentração de amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) do solo. As amostras, ainda com umidade do campo, foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas sob congelamento, até as análises químicas. A extração de NO₃⁻ e NH₄⁺ foi realizada por solução de KCL 2M e a determinação da concentração feita por espectrofotometria de absorção no ultravioleta (Howell & Frank. J. 1975).

2.1.5.3 Temperatura do solo

A temperatura do solo foi medida a cada avaliação de emissão, empregando termômetros digitais do tipo vareta, introduzidos até profundidade de cinco centímetros. Foi medida em dois pontos dentro de cada parcela, simultaneamente à coleta das amostras de ar.

2.1.6 Avaliação dos resíduos culturais

O resíduo das culturas (palhada) foi avaliado, após a dessecação da pastagem, ao término do período de pastejo em 2012, também após a colheita das culturas de verão, em 2012 e 2013. Foram coletados os restos culturais, presentes na superfície do solo, em dois pontos aleatórios por parcela, numa área de 2,25 m² (1,5m X 1,5m), delimitada com uma corda. O resíduo foi recolhido manualmente, acomodados em sacos, e pesado ainda no

campo. Uma sub amostra homogênea de cada parcela foi retirada, levada ao laboratório, seca a 65 °C, por três dias, para correção em massa seca, do resíduo pesado no campo.

2.2 EMISSÕES DE N₂O E CH₄ A PARTIR DE DEJETOS BOVINO

Para estimar a contribuição dos dejetos bovinos (esterco e urina) na emissão de N₂O e CH₄, nos sistemas integrados ILP e ILPF, desenvolveu-se um experimento paralelo em Curitiba – PR.

2.2.1 Área experimental e tratamentos

O estudo foi realizado no Setor de Ciências Agrárias da UFPR, Curitiba (PR). O clima do local é o semelhante ao do experimento de Ponta Grossa, onde está instalado o experimento, com os sistemas de uso do solo (Cfb, segundo classificação de Köppen) e com precipitação média anual de 1420 mm. O solo foi classificado como Cambissolo Háptico, de textura argilosa, 453 g kg⁻¹ de argila, e densidade, na camada de 0-5 cm de profundidade, de 1,2 Mg m⁻³.

O experimento foi conduzido numa área com pastagem cultivada composta por azévem e outras gramíneas perenes. A área do experimento (15 x 10 m = 150 m²) foi cercada para evitar a entrada e dejeções pelos animais. O estudo constituiu em avaliar a emissão de N₂O e CH₄ a partir de da aplicação de urina e esterco de bovino diretamente sobre o solo. As avaliações de emissão foram realizadas no inverno coincidindo com período de pastejo dos animais, nos sistemas integrados em Ponta Grossa. As avaliações foram feitas durante 55 dias entre junho e julho de 2013. A primeira foi feita no dia seguinte à aplicação dos dejetos e as demais foram feitas no 5º, 8º, 12º, 17º, 22º, 34º, 42º, e 55º dia, após a aplicação dos dejetos.

Os tratamentos consistiram na aplicação de esterco e urina, de maneira a simular a excreção dos dejetos pelo animal e uma testemunha (solo sem a aplicação de dejetos). Cada mini parcela foi delimitada por uma base de metal galvanizado em formato circular (mesma

base utilizada para a coleta de ar). A quantidade de esterco fresco aplicado em cada base foi de 2,3 kg, massa correspondente a uma esterca (média obtida de 16 esterçadas coletadas). A quantidade de urina aplicada foi 1,725 L, volume correspondente a uma urinada (média obtida de 16 urinadas coletadas).

A coleta de urina e esterco foi realizada, com auxílio de baldes, no período da manhã e a tarde, antes da ordenha, de vacas em lactação, da Fazenda Canguiri, pertencente a UFPR. O volume de cada urinação foi medido e transferido a um recipiente único, para homogeneização do líquido. A massa da cada esterçada foi quantificada e transferida a um recipiente para homogeneização. A aplicação do dejetos a campo foi realizada no dia seguinte a coleta. Visando simular a excreção pelo animal, a urina foi vertida cuidadosamente sobre a mini parcela.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. A distância entre as microparcels foi de 1,5 m.

2.2.2 Caracterização da urina e esterco

A concentração de N total da urina foi determinada pelo método de Kjeldahl. O procedimento ocorreu através da digestão com H_2SO_4 , seguida de destilação e leitura por titulação com NaOH, utilizando indicador fenolftaleína. A concentração de nitrogênio presente na urina foi de 7,05 g N L⁻¹.

Amostras de esterco foram secas a 60 °C para a determinação umidade gravimétrica, e após foi realizada análise, por combustão seca, em analisador elementar Vario EL III, para determinação de concentração de nitrogênio. A umidade esterco aplicado foi de 86,9 % e apresentou uma concentração de nitrogênio de 26,2 g N kg⁻¹ de massa seca.

2.2.3 Fator de emissão de N₂O e CH₄ da urina e esterco

O fator de emissão (FE) de N₂O resultado da aplicação de urina e esterco foi calculado conforme equação proposta por De Klein et al. (2003), que considera o total de N-N₂O emitido a partir da urina ou esterco (descontada a emissão basal, do solo) em relação ao nitrogênio total aplicado.

O fator de emissão de CH₄ foi calculado apenas para o esterco, o qual teve significativa de CH₄. Para o cálculo foi considerado o total de C-CH₄ emitido, a partir do esterco em relação ao carbono total aplicado, no solo.

2.3 CONTRIBUIÇÃO DOS DEJETOS NA EMISSÃO DOS SISTEMAS INTEGRADOS

Para quantificar a contribuição dos dejetos na emissão dos gases, nos sistemas integrados, estimou-se a quantidade de esterco e urina produzida por animal durante um período de pastejo (75 dias), e a concentração de nitrogênio e carbono dos dejetos, no experimento localizado no IAPAR, em Ponta Grossa. Foi levado em consideração dados de Matthews & Sollenberger (1996), que um animal esterca 12 vezes ao dia e urinadas 10 vezes ao dia. A massa de uma estercada (1,2 kg) e volume de uma urinada (800 mL), medidos a campo dos próprios animais que pastejavam a área, no IAPAR, em agosto de 2012. Foi feita a análise da concentração de nitrogênio do esterco (2,24 % da MS) e urina (4,7 mg ml⁻¹), coletados na mesma ocasião, afim de determinar a quantidade de nitrogênio excretada por animal.

Conhecendo o fator de emissão (FE) de N₂O individual do esterco e da urina (obtidos do experimento em Curitiba). Utilizando a equação (2), adaptada de Chiavegato (2010), foi estimada, separadamente, a emissão anual de N₂O resultante da deposição do esterco e da urina, no solo durante os 75 de pastejo, no IAPAR, em Ponta Grossa.

$$\text{Emissões de N}_2\text{O} = \text{QN} \times \text{FE} \times \text{N}^\circ \quad \text{Equação } ^{(2)}$$

Onde:

Emissões de N₂O = Estimativa da emissão, em kg N ha⁻¹ ano⁻¹

QN = Quantidade de nitrogênio excretada, por um animal via esterco ou urina, separadamente, em kg N ha⁻¹, durante os 75 dias de pastejo.

FE = Fator de emissão N₂O do esterco ou urina depositado no solo, em % (dados do experimento executado em Curitiba).

Nº animais = Número de animais por ha (5)

Para a estimativa da emissão de CH₄, foi considerada a massa seca de esterco produzida por um animal durante os 75 dias de pastejo. Considerando o fator de emissão (FE) de CH₄ do esterco (obtidos do experimento de em Curitiba) e utilizado à equação (3), adaptada de Chiavegato (2010), foi estimada a emissão anual de CH₄, resultante da deposição dos dejetos no solo.

$$\text{Emissões de CH}_4 = \text{QE} \times \text{FE} \times \text{N}^\circ \quad \text{Equação } ^{(3)}$$

Onde:

Emissões de CH₄ = estimativa da emissão, em kg C ha⁻¹ ano⁻¹

QE = Quantidade de carbono excretada, por um animal, em kg C ha⁻¹, durante os 75 dias de pastejo.

FE = Fator de emissão de CH₄ do esterco depositado no solo, em % (dado do experimento executado em Curitiba).

Nº animais = Número de animais por ha (5)

2.4 EMISSÃO GLOBAL DE N₂O E CH₄ DO SOLO

A emissão global do solo representa a soma das emissões de N₂O e CH₄ anual do solo nos sistemas agrícola, junto com as emissões de N₂O e CH₄ dos dejetos nos sistemas integrados. Antes da soma de todas as emissão, as emissões de N₂O e CH₄ foram

transformadas para CO₂ equivalente, considerando o potencial de aquecimento de cada gas em relação ao CO₂, 296 vezes para o N₂O e 25 vezes para o CH₄ (IPCC, 2007; Houghton et al., 2001).

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados das taxas de emissão do solo, esterco e urina, e taxa de emissão acumulada de N₂O e CH₄, foram submetidos à análise de variância ANOVA. As médias entre os tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05). As análises foram realizadas com o programa estatístico ASSISTAT 7.7 BETA, versão 2013. A dependência do fluxo dos gases com a porosidade preenchida por água, os teores de nitrogênio inorgânico do solo (NO₃⁻ e NH₄⁺) do solo e temperatura do solo foram testados por meio de correlação.

3. RESULTADOS

3.1 EMISSÃO DE N₂O E CH₄ A PARTIR DO SOLO

3.1.1 Óxido nítrico

O fluxo de N₂O permaneceu abaixo de 30 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$, durante grande parte do período avaliado (Figura 1). Ocorram picos de emissão após a aplicação de nitrogênio na aveia preta, em junho de 2012 e de 2013. Na lavoura, os maiores picos no inverno foram de 43,7 e 48,5 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$, em 2012 e 2013, respectivamente. Os maiores picos nos sistemas agrícolas ocorreram entre o início de março e final de abril, período de senescência da soja. O maior pico ocorreu em 26 de março, na ILP, com 160 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$, seguido da lavoura e ILPF, com 120 e 40 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$, respectivamente. O campo nativo, durante todo o período avaliado, apresentou um baixo fluxo de N₂O, oscilando sempre próximo a zero e com emissão máxima de 5,7 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$, registrada em 5 de agosto de 2012.

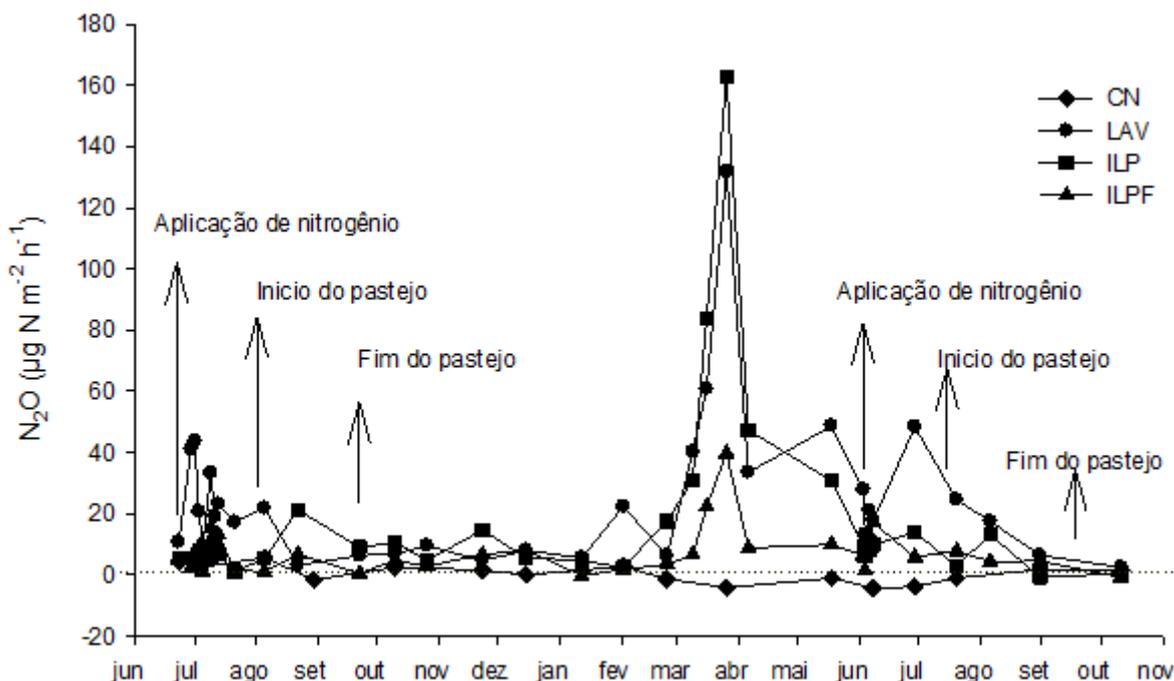


FIGURA 1 – Emissão de N₂O do solo, sob os sistemas de uso: campo nativo (CN); lavoura (LAV); integração lavoura pecuária (ILP); integração lavoura pecuária floresta (ILPF), de junho de 2012 a outubro de 2013. Ponta Grossa-PR.

A emissão anual acumulada de N_2O foi $1,89 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, registrada na lavoura, mas não diferiu da ILP ($1,65 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (Figura 2). Entre os sistemas integrados apesar de não haver diferença, a ILPF com $0,57 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, apresentou menos da metade da emissão da ILP ($1,65 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). O campo nativo, apesar de não diferir da ILPF, apresentou emissão acumulada irrelevante, com apenas $0,008 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$,

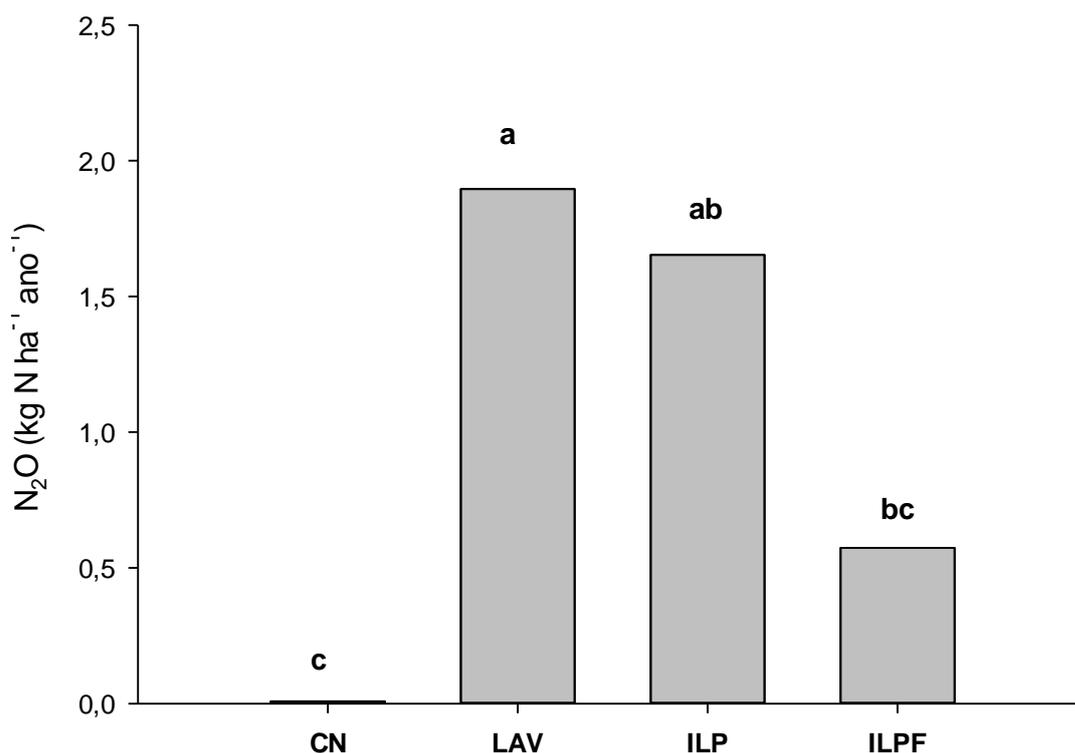


FIGURA 2 – Emissão anual acumulada de N_2O do solo, sob os sistemas de uso: campo nativo (CN); lavoura (LAV); integração lavoura pecuária (ILP); integração lavoura pecuária floresta (ILPF). Ponta Grossa-PR. Barras com a mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 5\%$).

Na área de ILPF a emissão acumulada de N_2O , avaliada também em transectos (linhas transversais a linhas das árvores) foi maior no centro da faixa de cultivo, formando um gradiente de emissão crescente, da linha de árvores para o centro da faixa de cultivo (Figura 3). A maior emissão ocorreu justamente no centro da faixa de cultivo, posição P3 com $1,3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Valores de emissão intermediários foram encontrados nos terços médios da faixa

de cultivo, posição P2 e P4 com 0,96 e 0,73 kg N ha⁻¹ ano⁻¹. Junto a linha das árvores, posição P1 e P5 ocorram as menores emissões 0,36 e 0,29 kg N ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

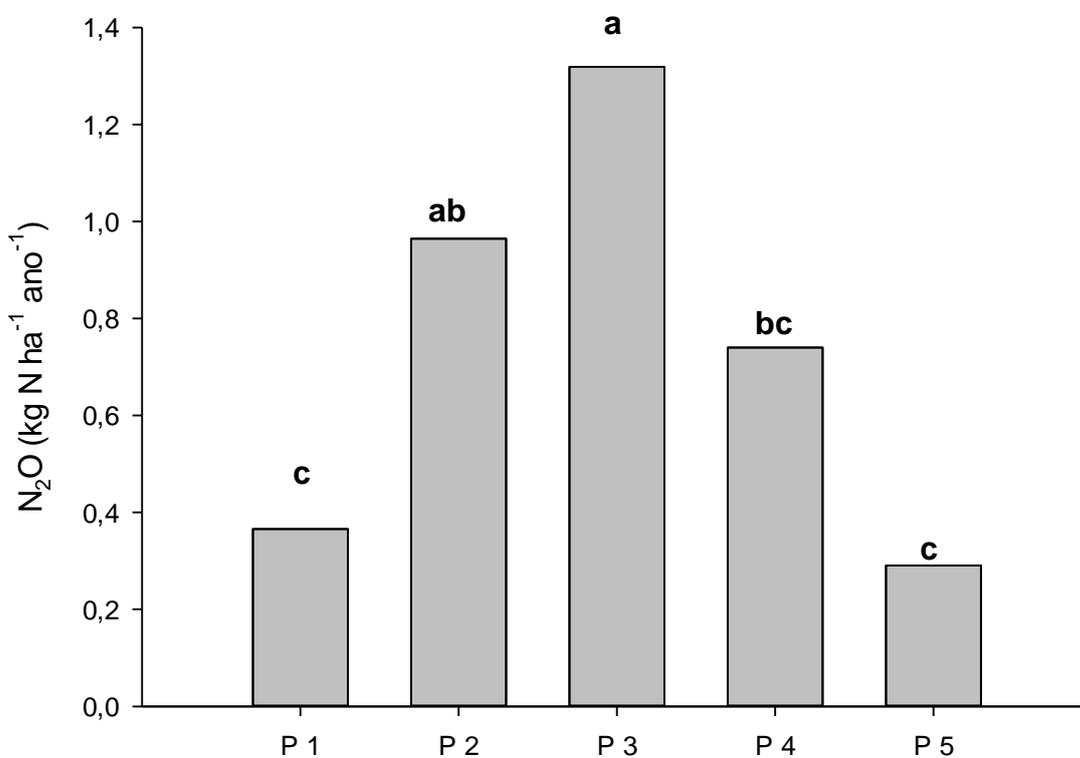


FIGURA 3 – Emissão anual acumulada de N₂O do solo na integração lavoura pecuária floresta, no transecto (distribuição transversal à linha de arvores): linha de arvore superior (P1) e inferior (P5) a faixa de cultivo; terços médios da faixa de cultivo (P2 e P4); centro da faixa de cultivo (P3). Ponta Grossa-PR. Barras com a mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p < 5%).

3.1.2 Emissão de metano

Na maioria das avaliações ocorreu influxo de CH₄ atmosférico para o solo (Figura 4). Os maiores influxos ocorreram no campo nativo, chegando a 80 µg C m⁻² h⁻¹, ocorrido em outubro de 2012. A lavoura na maioria das avaliações, também atuou como dreno de CH₄, atingindo taxa máxima de influxo de 77 µg C m⁻² h⁻¹ em junho de 2013. Porém, alguns picos de emissão ocorrem na lavoura, principalmente após a aplicação de ureia na cultura da aveia preta. O maior pico de emissão foi de 19 µg C m⁻² h⁻¹ observado, em agosto de 2012. O fluxo de CH₄ nos sistemas integrados ILP e ILPF acompanhou a variação observada na lavoura,

embora geralmente com maiores influxos. As maiores taxas de influxo de CH₄ na ILP e ILPF foram de 57 e 48 μg C m⁻² h⁻¹, respectivamente.

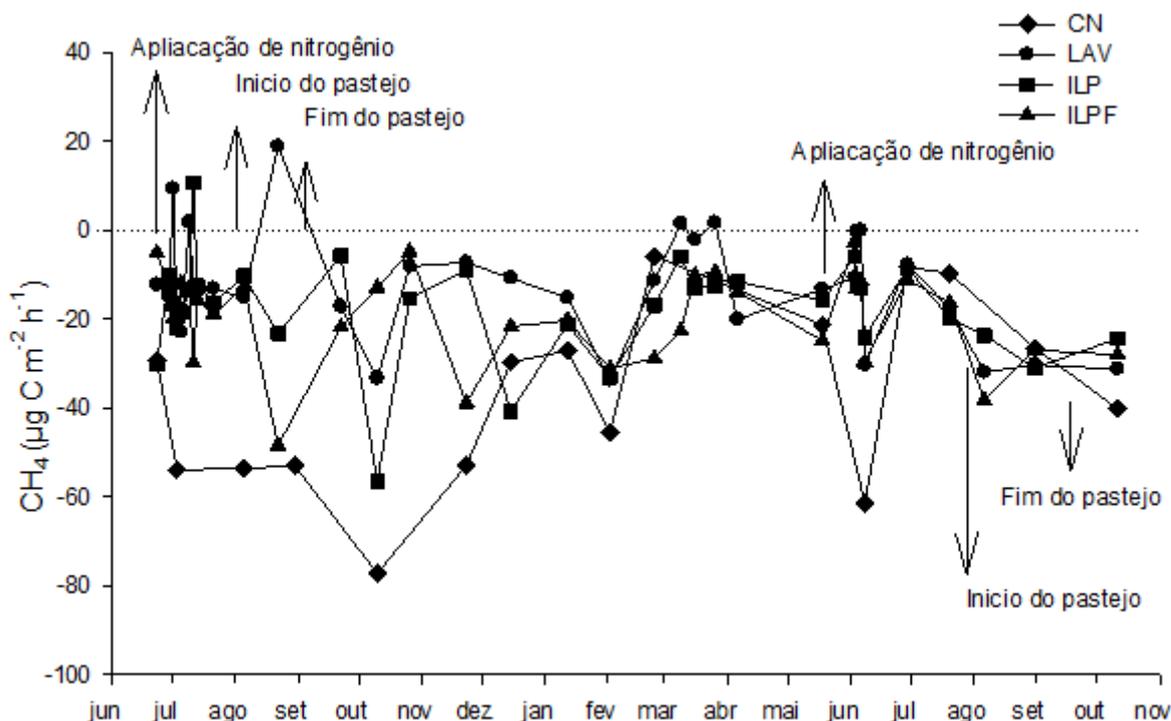


FIGURA 4 – Emissão de CH₄ do solo, sob os sistemas de uso: campo nativo (CN); lavoura (LAV); integração lavoura pecuária (ILP); integração lavoura pecuária floresta (ILPF)), de junho de 2012 a outubro de 2013. Ponta Grossa-PR.

A emissão anual acumulada de CH₄ foi negativa em todos os sistemas, indicando que o solo o solo comportou-se no geral como um dreno de CH₄ atmosférico (Figura 5). O campo nativo apresentou a maior mitigação de CH₄, com 3,2 kg C ha⁻¹ ano⁻¹, apesar de não ser diferente dos sistemas integrados ILP e ILPF, cujas mitigações foram de 1,7 e 1,7 kg C ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. A lavoura foi o sistema que menos consumiu CH₄ (1,2 kg C ha⁻¹ ano⁻¹), mas apresentando diferença significativa, apenas com o campo nativo.

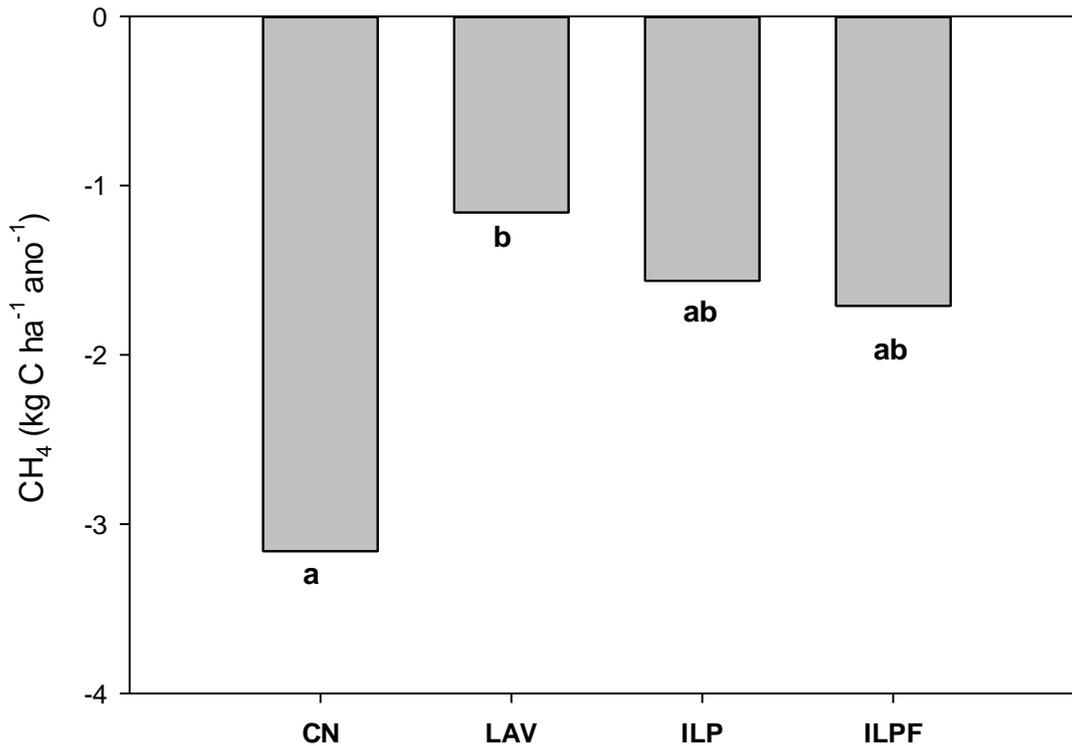


FIGURA 5 – Emissão anual acumulada de CH₄ do solo, sob os sistemas de uso: campo nativo (CN); lavoura (LAV); integração lavoura pecuária (ILP); integração lavoura pecuária floresta (ILPF). Ponta Grossa-PR. Barras com a mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 5\%$).

Na ILPF, a emissão acumulada de metano nas cinco posições avaliadas foi negativa (Figura 6). O solo atuou como dreno de CH₄ atmosférico, mas não houve diferença significativa entre as cinco posições avaliadas no transecto. No entanto, houve uma tendência do solo próximo da linha de árvore e principalmente na linha de árvore, posição P1 e P5 ser um dreno mais potente que o centro da faixa de cultivo. As posições com maior influxo de CH₄ foram P2 e P5, com 3,09 e 2,88 kg C ha⁻¹ ano⁻¹ respectivamente. A posição P3, no centro da faixa de cultivo, teve influxo um de 2,47 kg C ha⁻¹ ano⁻¹.

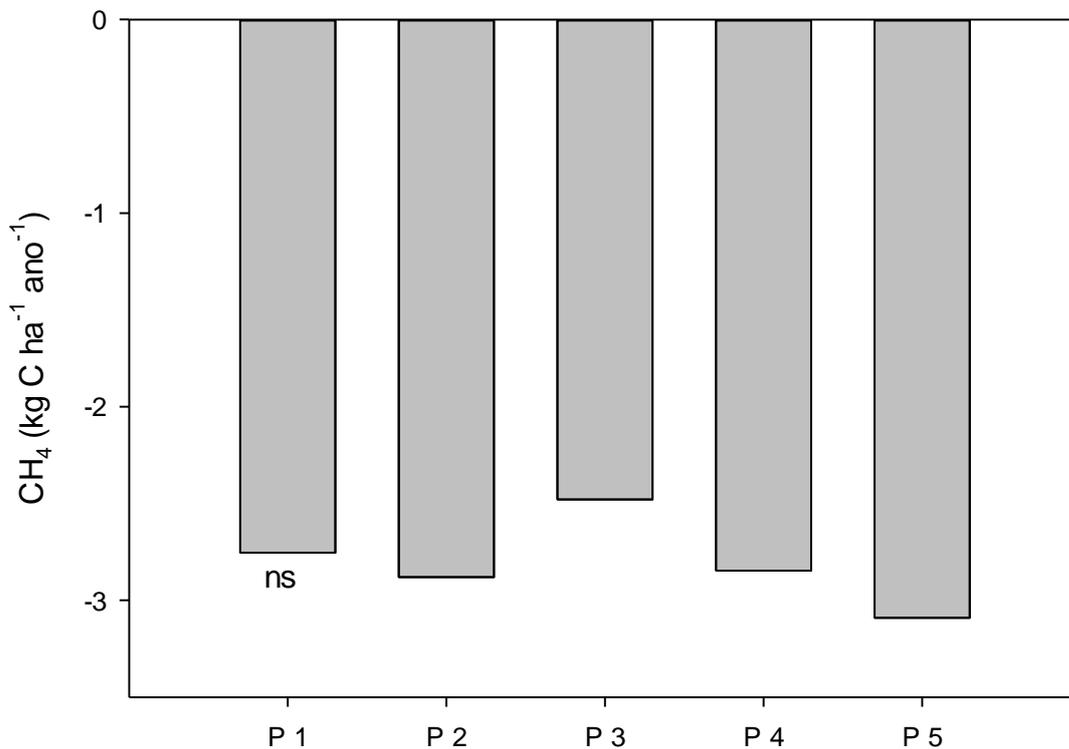


FIGURA 6 – Emissão anual acumulada de CH₄ do solo na integração lavoura pecuária floresta no transecto (distribuição transversal à linha de árvores): linha de árvore superior (P1) e inferior (P5) a faixa de cultivo; terços médios da faixa de cultivo (P2 e P4); centro da faixa de cultivo (P3). Ponta Grossa-PR. Barras com a mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 5\%$).

3.1.3 Atributos do solo

3.1.3.1 Porosidade preenchida por água

A PPA, em todos os sistemas de uso, apresentou a mesma tendência temporal (Figura 7). Observaram-se variações dentro do próprio sistema, mesmo com pequeno intervalo entre as avaliações. A lavoura permaneceu ao longo de todo o período avaliado com os maiores valores PPA, seguido geralmente da ILP e ILPF. A maior PPA foi registrada na lavoura (69,7%), em 9 de julho de 2012; e a menor na ILPF, em 22 agosto de 2012 (15,4%).

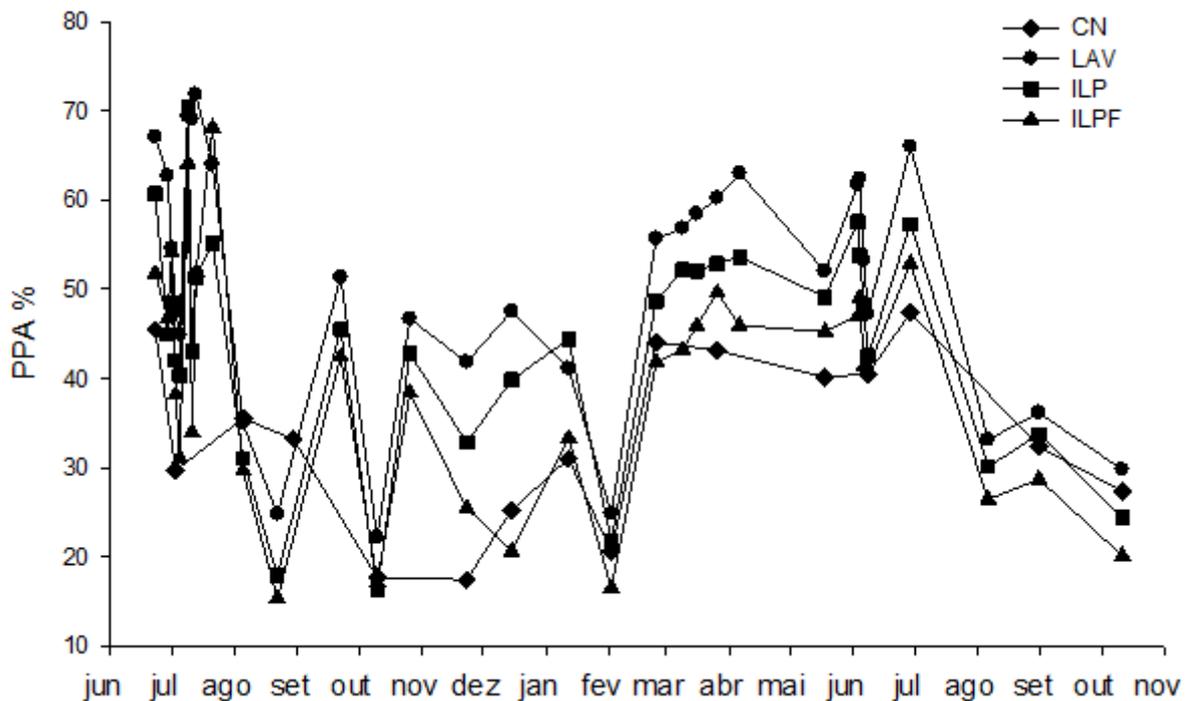


FIGURA 7 – Porosidade do solo preenchida por água em porcentagem (PPA%) na camada de 0-5 cm de solo, sob os sistemas de uso: campo nativo (CN); lavoura (LAV); integração lavoura pecuária (ILP); integração lavoura pecuária floresta (ILPF)), de junho de 2012 a outubro de 2013. Ponta Grossa-PR.

3.1.3.2 Nitrogênio inorgânico (NO_3^- e NH_4^+)

A concentração de nitrogênio no solo aumentou com a aplicação de ureia na aveia preta, em ambos os anos, 2012 e 2013 (Figura 8). Houve inicialmente um aumento da concentração de NH_4^+ , coerente com a aplicação na forma de ureia. Após 15 dias, ocorreu um aumento considerável também na concentração de NO_3^- , principalmente em 2013 (Figura 9). Mas os picos de concentração de NO_3^- (97,6 e 91,6 mg N kg^{-1}) foram superiores aos de NH_4^+ (40,1 e 58,8 mg N k^{-1}). A lavoura, de maneira geral, apresentou as maiores concentrações de NH_4^+ e NO_3^- , com média de 9,7 e 16,9 mg N kg^{-1} , respectivamente; seguido pela ILP (8,9 e 14,1 mg N k^{-1}) e ILPF (5,6 e 12,0 mg N kg^{-1}). O campo nativo apresentou as menores concentrações de nitrogênio, em média 3,2 mg N k^{-1} , na forma de amônio e 1,3 mg kg^{-1} de nitrato, na camada de 0-5 cm de profundidade.

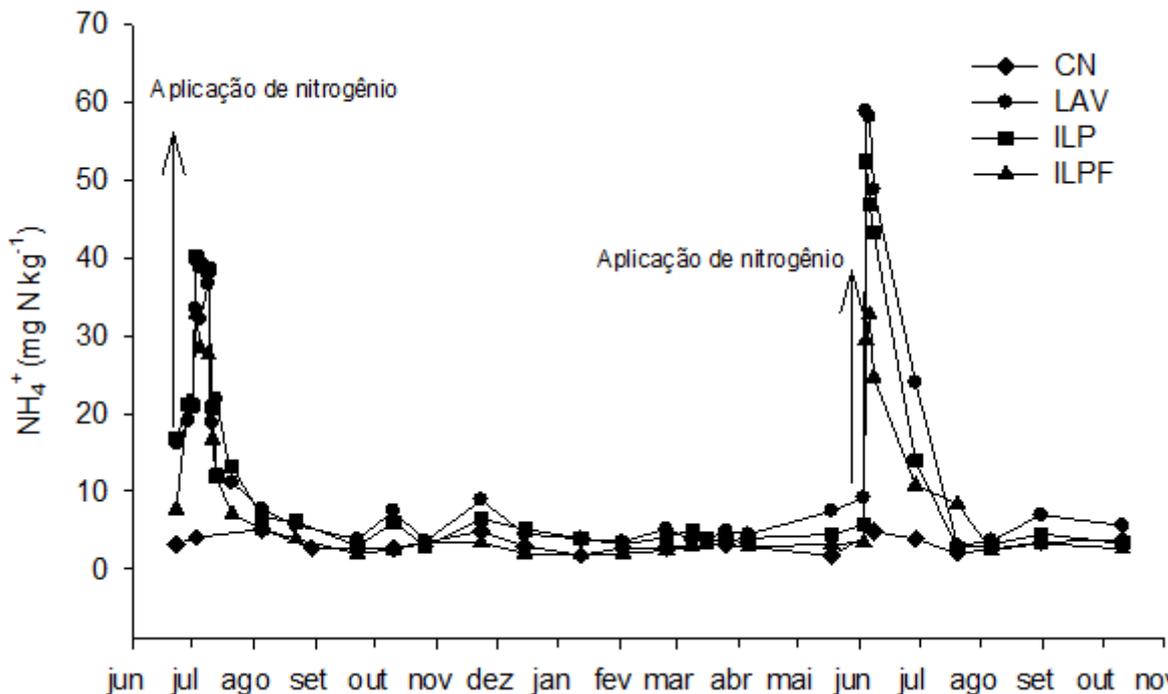


FIGURA 8 – Concentração de amônio na camada de 0-5 cm de solo, sob os sistemas de uso: campo nativo (CN); lavoura (LAV); integração lavoura pecuária (ILP); integração lavoura pecuária floresta (ILPF) , de junho de 2012 a outubro de 2013. Ponta Grossa-PR.

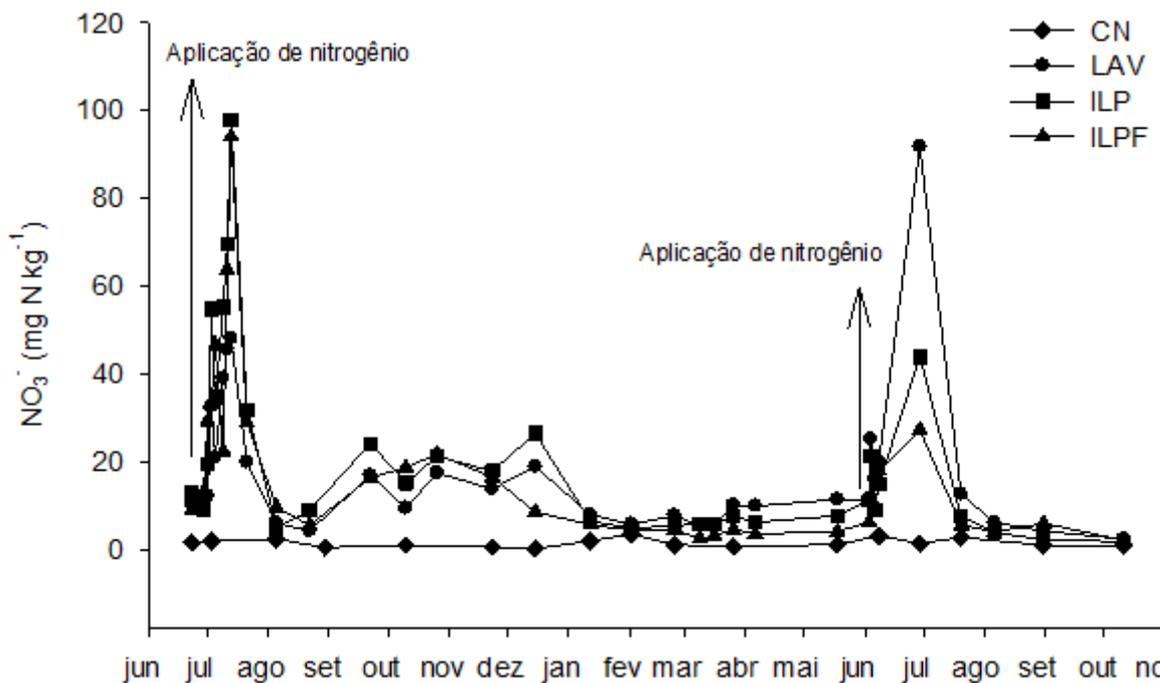


FIGURA 9 – Concentração de nitrato na camada de 0-5 cm de solo, sob os sistemas de uso: campo nativo (CN); lavoura (LAV); integração lavoura pecuária (ILP); integração lavoura pecuária floresta (ILPF) , de junho de 2012 a outubro de 2013. Ponta Grossa-PR.

3.1.3.3 Temperatura do solo

A temperatura do solo, na camada de 0-5 cm de profundidade, foi influenciada temporalmente das estações do ano (Figura 10). As maiores temperaturas ocorrem no verão, entre outubro e abril. A máxima registrada foi de 25,7 ocorrida em novembro de 2012, no campo nativo. No inverno, as menores temperaturas ocorreram em julho de 2012, sendo média neste mês de 14,3 °C. Entre os sistemas de uso não foi observado diferença, todos apresentaram um mesmo comportamento, temporalmente.

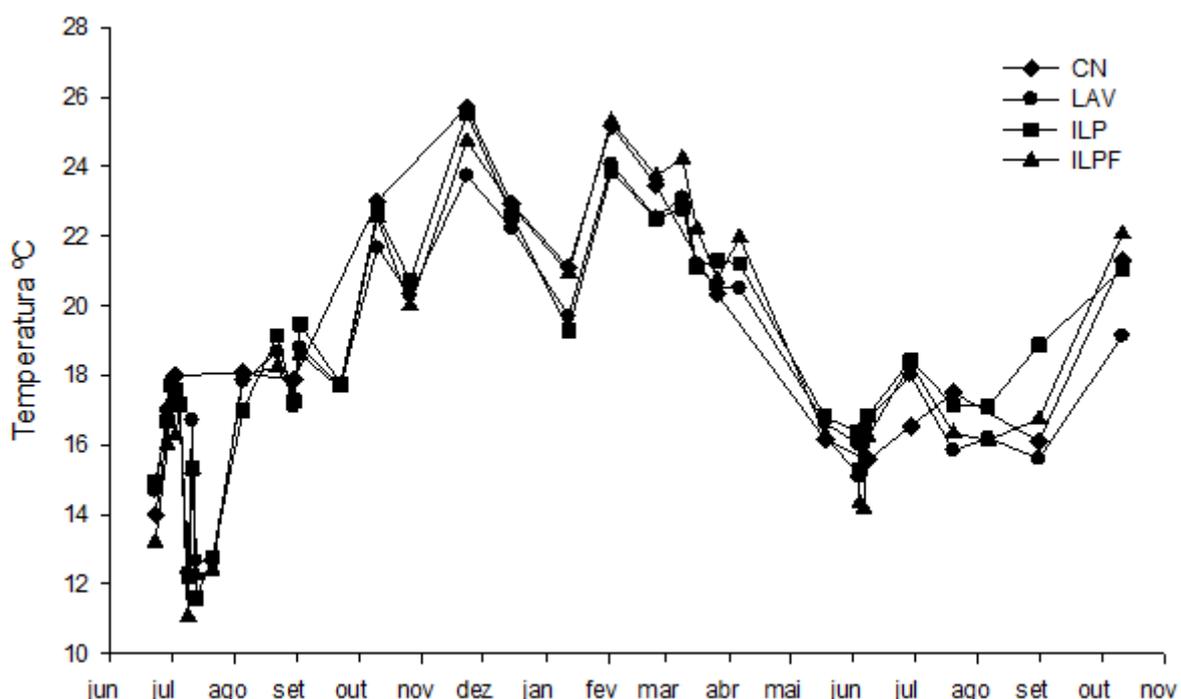


FIGURA 10 – Temperatura na camada de 0-5 cm de solo, sob os sistemas de uso: campo nativo (CN); lavoura (LAV); integração lavoura pecuária (ILP); integração lavoura pecuária floresta (ILPF), de junho de 2012 a outubro de 2013. Ponta Grossa-PR.

3.1.4 Resíduos culturais (palhada)

Os resíduos culturais de milho, em junho de 2012, na lavoura e ILP foram similares ($10,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) e superiores ao da ILPF ($8,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Tabela 1). No inverno, na lavoura ocorreu o maior acúmulo de resíduo ($4,2 \text{ Mg ha}^{-1}$), uma vez que o consórcio aveia preta +

azevém, serve unicamente para cobertura. Já na ILP e ILPF, a aveia preta + azevém são pastejados restando para cobertura do solo 1,8 e 0,9 Mg ha⁻¹ de resíduo, respectivamente.

TABELA 1 – Massa seca de resíduos culturais (palhada), presentes na superfície do solo, ao fim de cada cultivo, em sistemas de uso, Ponta Grossa-PR.

SISTEMAS ⁽¹⁾	junho 2012	outubro 2012 Mg ha ⁻¹ ⁽²⁾	abril 2013
LAV	10,3 a ⁽³⁾	4,2 a	1,5 a
ILP	10,3 a	1,8 b	1,3 ab
ILPF	8,1 b	1,4 c	1,1 b

⁽¹⁾ Sistemas de uso: lavoura (LAV); integração lavoura pecuária (ILP); integração lavoura pecuária floresta (ILPF). Ponta Grossa-PR.

⁽²⁾ Massa seca dos restos culturais de milho, em junho de 2012; de aveia preta + azevém, em outubro 2012; e de soja, em abril de 2013.

⁽³⁾ Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p < 5%).

3.2 EMISSÃO A PARTIR DE DEJETOS BOVINOS

3.2.1 Óxido nitroso

A aplicação de urina ao solo aumentou o fluxo de N₂O, já no primeiro dia após a aplicação, com um pico de emissão (3434 µg N m⁻² h⁻¹) ocorrendo no 5º dia (Figura 11). A emissão permaneceu elevada até o 17º dia após a aplicação, a partir de quando não houve mais diferença significativa do tratamento com urina e os demais. A partir do 17º dia a emissão da urina era similar a emissão basal do solo.

O esterco também elevou a emissão de N₂O entre o 1º e o 17º dia, porém não intensamente como a urina, com fluxo máximo de 261 µg N m⁻² h⁻¹. O solo emitiu pequena quantidade de N₂O, tendo um fluxo médio basal de 6 µg N m⁻² h⁻¹, similar ao observado com a aplicação de esterco a partir do 17º dia.

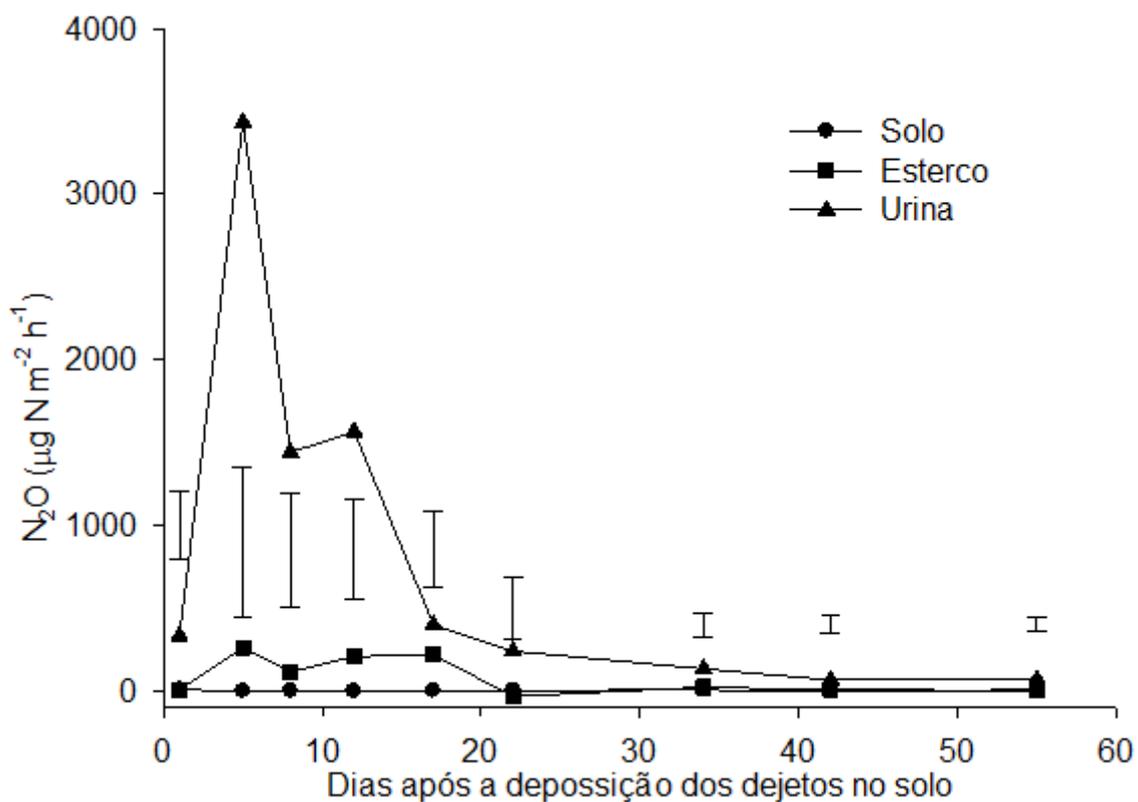


FIGURA 11 – Emissão de N₂O a partir do solo e de pontos de deposição de esterco e urina de bovinos, em área de pastagem, durante 55 dias, no inverno de 2013, em Curitiba – PR. Barras verticais representam a diferença mínima significativa, pelo teste de Tukey (p < 5 %).

A emissão acumulada de N₂O foi mais sete vezes superior com a aplicação de urina (8,0 kg N ha⁻¹), em relação à aplicação esterco (1,1 kg N ha⁻¹). A emissão basal do solo (0,1 kg N ha⁻¹) foi quase desprezível em comparação às emissões a partir de esterco e urina (Figura 12).

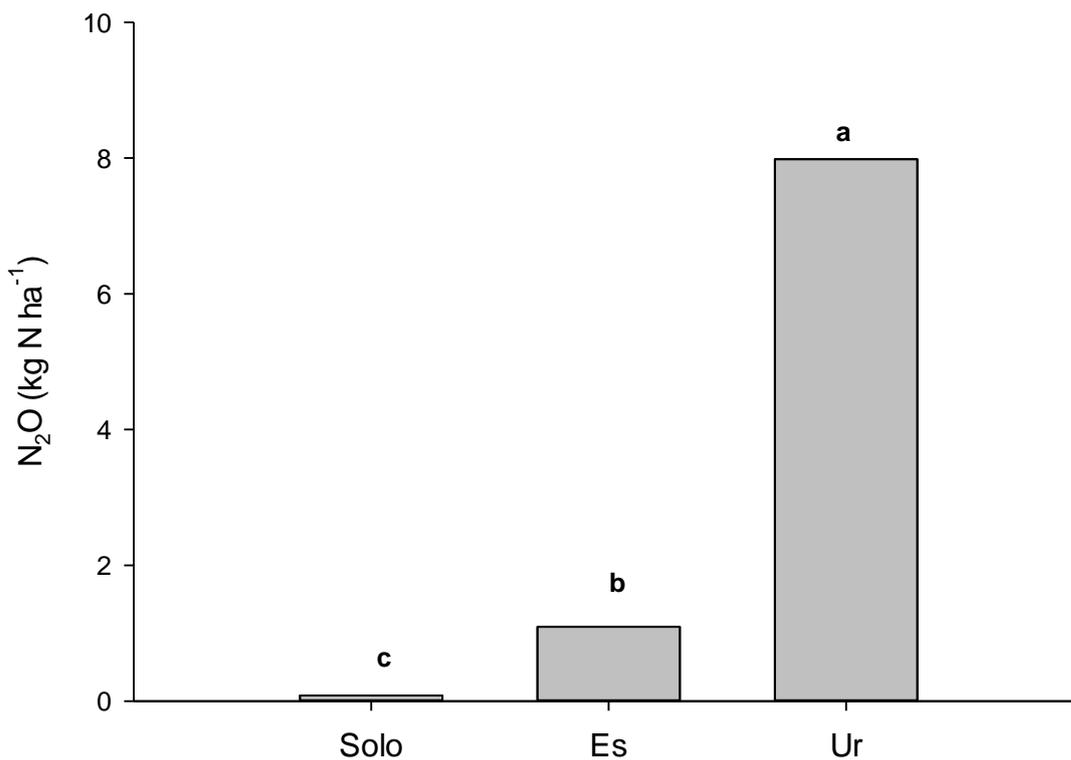


FIGURA 12 – Emissão acumulada de N₂O a partir do solo e de pontos de deposição de esterco (Es) e urina (Ur) de bovinos, em área de pastagem, durante 55 dias, no inverno de 2013, em Curitiba – PR. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 5\%$).

3.2.2 Metano

O maior fluxo de emissão de metano ocorreu entre o 5º e o 12º dia após a aplicação do esterco (Figura 13). O pico de emissão aconteceu no 5º dia após a deposição de esterco ($12.329 \mu\text{g C m}^{-2} \text{h}^{-1}$). A partir do 17º não houve mais diferença significativa no fluxo de CH₄ entre os tratamentos. A aplicação de urina não alterou o fluxo de CH₄ que foi similar ao basal do solo ($13 \mu\text{g C m}^{-2} \text{h}^{-1}$).

A emissão acumulada de CH₄, após a aplicação de esterco foi equivalente a $23,8 \text{ kg C ha}^{-1}$ (figura 14), superior à da urina ($0,1 \text{ kg C ha}^{-1}$) e do solo ($0,2 \text{ kg C ha}^{-1}$).

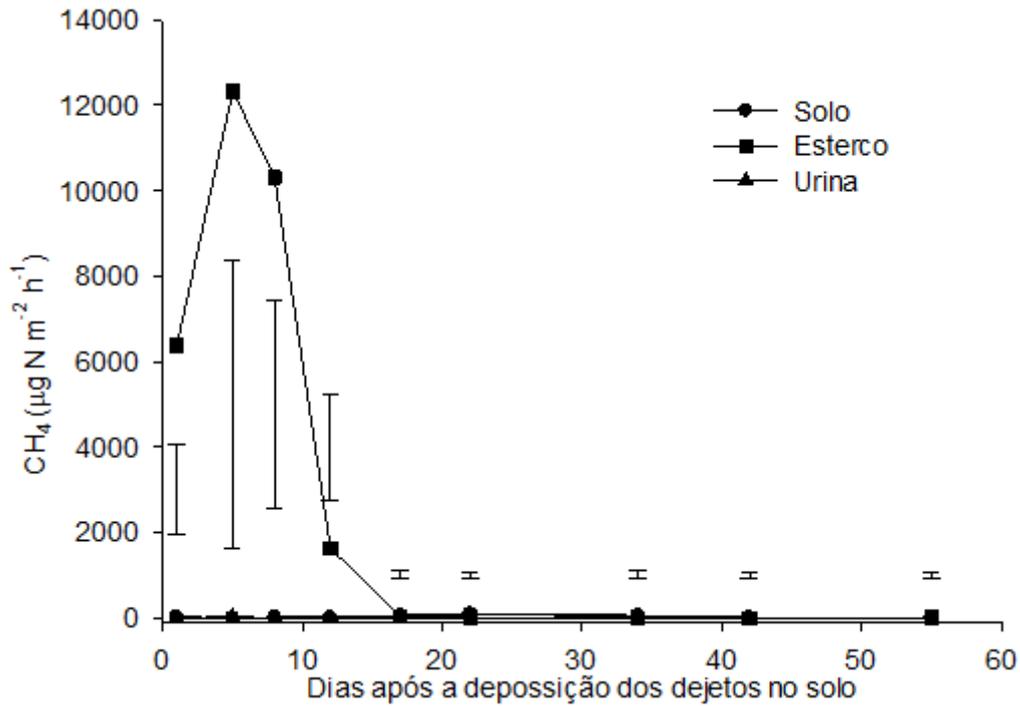


FIGURA 13 – Emissão de CH₄ a partir do solo e de pontos de deposição de esterco e urina de bovinos, em área de pastagem, durante 55 dias, no inverno de 2013, em Curitiba – PR. Barras verticais representam a diferença mínima significativa, pelo teste de Tukey (p < 5 %).

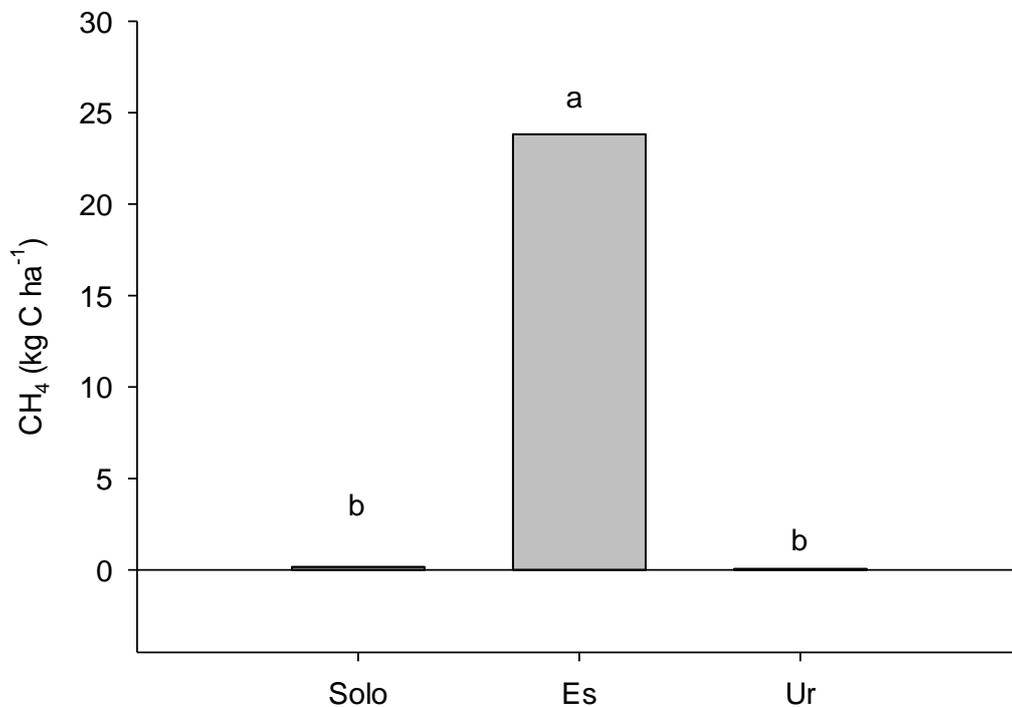


FIGURA 14 – Emissão acumulada de CH₄ a partir do solo e de pontos de deposição de esterco (Es) e urina (Ur) de bovinos, em área de pastagem, durante 55 dias, no inverno de

2013, em Curitiba – PR. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 5\%$).

3.2.3 Fator de emissão de N_2O e CH_4 da urina e esterco bovino

O fator de emissão de $N-N_2O$, da urina (0,57 %) foi superior ao encontrado no esterco de 0,11 % (Tabela 2). O fator de emissão de CH_4 foi determinado apenas para o esterco, pois a aplicação de urina não contribuiu com a emissão CH_4 . No esterco, o fator de emissão de $C-CH_4$ foi de 0,14 %.

TABELA 2 - Fatores de emissão de óxido nitroso e metano, a partir de urina e esterco aplicado ao solo de pastagem.

Dejetos	Fator de emissão %	
	$N_2O^{(1)}$	$CH_4^{(2)}$
Urina	0,57	-
Esterco	0,11	0,14

⁽¹⁾ Porcentagem de nitrogênio perdido na forma de N_2O , em relação à quantidade de nitrogênio presente na urina ou esterco aplicado.

⁽²⁾ Porcentagem de carbono perdido na forma de CH_4 , em relação à quantidade de carbono presente no esterco aplicado.

3.3 EMISSÃO GLOBAL DE N_2O E CH_4 DO SOLO

Nos sistemas de uso, a emissão anual acumulada de N_2O e CH_4 foi convertida para dióxido de carbono equivalente ($C-CO_2$ -eq) (Figura 15). Nos sistemas integrados, a emissão do solo foi somada a emissão dos dejetos correspondente um ciclo de pastejo, representado a emissão global do solo. No campo nativo considerando a emissão de N_2O e o CH_4 , em carbono equivalente houve um influxo de 27 kg $C-CO_2$ -eq $ha^{-1} ano^{-1}$. Na lavoura houve emissão de 232 kg $C-CO_2$ -eq $ha^{-1} ano^{-1}$, não diferindo significativamente da ILP com 241 kg $C-CO_2$ -eq $ha^{-1} ano^{-1}$. A ILPF foi a que apresentou a menor emissão dentre os sistemas agrícolas, apenas 102 kg $C-CO_2$ -eq $ha^{-1} ano^{-1}$. Nos sistemas integrados a contribuição da urina

foi de 32 kg C-CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹ e a do esterco de 18 kg C-CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹, somadas a emissão do solo de 198 e 58 kg C-CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹ da ILP e ILPF, respectivamente.

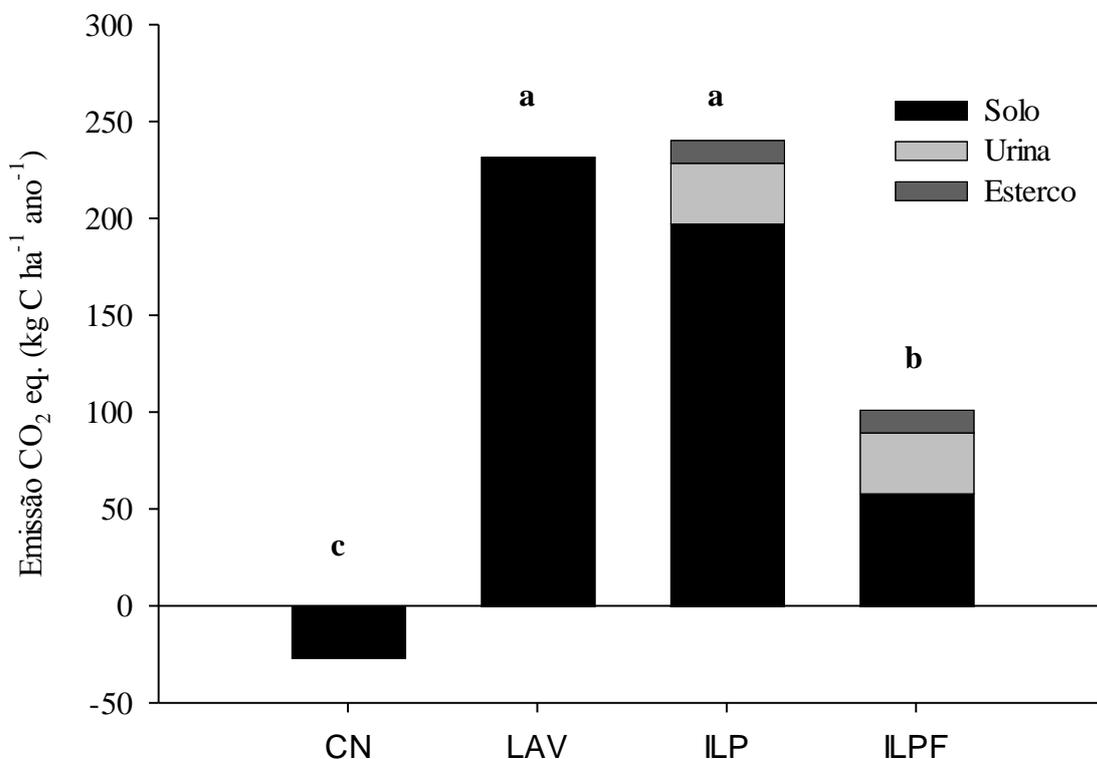


FIGURA 15 – Emissão anual acumulada de N₂O e CH₄ do solo, em equivalente CO₂ do solo, juntamente com a contribuição da urina e esterco, sob os sistemas de uso: campo nativo (CN); lavoura (LAV); integração lavoura pecuária (ILP); integração lavoura pecuária floresta (ILPF). Ponta Grossa - PR. Barras seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p < 5%).

4. DISCUSSÃO

4.1 EMISSÕES DO SOLO

Os três picos de emissão de N₂O ao longo do ano ocorrem no inverno de 2012 e 2013, na cultura da aveia e no final do verão, na cultura da soja. Os picos de emissão de N₂O que ocorrem durante o inverno foram causados pela aplicação de nitrogênio mineral, na cultura da aveia. A fertilização nitrogenada feita com ureia aumentou rapidamente a concentração de NH₄⁺ no solo, mas somente após a primeira chuva, ocorrida duas semanas após a aplicação, a quantidade NO₃⁻ atingiu o seu máximo (Figura 8 e 9). Em função disso, os picos de emissão, relativos à aplicação de 90 kg de N ha⁻¹, encontrados em 2012 e 2013 (43,7 e 48,5 μg N m⁻² h⁻¹) foram pequenos, em comparação aos observados, por diversos autores como Piva et al. (2013) e Zanatta et al. (2010). Embora, foi possível constatar o aumento do fluxo de N₂O, em função da aplicação de nitrogênio.

O maior pico de emissão de N₂O ocorreu durante o cultivo da soja (160 μg N m⁻² h⁻¹), no período de senescência da soja (Figura 1). Este pico deve ser resultado decomposição das raízes e nódulo mortos, associado com a concentração de nitrogênio no solo, como sugerido por Albuquerque (2012) e Ciampitti et al. (2008), uma vez que, não foi observado aumento de emissão, no início do cultivo. Mas, estudos que mostram que o plantio de soja estimula a emissão de N₂O (Yang & Cai, 2005), o que estaria associado ao sistema simbiótico da cultura.

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) foi apontada como fonte de emissão de N₂O durante o crescimento de leguminosas (Bouwman, 1996). Nascimento (2011), estudando o efeito da inoculação de soja, em vaso, sobre a emissão de N₂O, conclui que a emissão está associada a estirpe de inoculante utilizado, onde *Bradyrhizobium elkanii* tendem a emitir menos N₂O quando comparadas a plantas inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*. No entanto, em nível de campo, as maiores emissões no cultivo de soja, estão relacionadas mesmo com a decomposição de resíduos vegetais, ao em vez da FBN (Ciampitti et al. 2008; Rochette &

Janzen, 2005). Os resíduos ricos em nitrogênio (baixa relação C: N) se decompõem no solo, podendo liberar grandes quantidades de N mineral, ficando suscetível à perda por N₂O, em função da nitrificação e desnitrificação (Rochette & Janzen, 2005). Embora não foi constatado este aumento da concentração de nitrogênio no solo, que possivelmente tenha ocorrido apenas na rizosfera.

A emissão anual de N₂O do solo, na lavoura foi similar à encontrada na ILP (Figura 2), mostrando que o adensamento superficial do solo, causado pelo pastejo não afetou a emissão de N₂O do solo. Este adensamento do solo, na ILP não resultou em uma maior PPA neste sistema, em comparação a lavoura. Pois na ILP, o pastejo reduziu a quantidade de resíduo, na superfície do solo. Na lavoura acúmulo de resíduo (palhada) da cultura de inverno na superfície do solo, chegou a 4,2 Mg ha⁻¹, na ILP 1,8 Mg ha⁻¹, está redução da cobertura do solo favoreceu a perda de água por evaporação, e assim PPA não diferiu significativamente entre os sistemas, apesar da menor umidade. Isso aliado a uma concentração de N mineral próxima, resultou em numa emissão de N₂O, do solo semelhante. No entanto resultados diferentes foram encontrados por Piva et al. (2013), em que o sistema de ILP emitiu mais N₂O que uma a área sem pastejo.

Entre os sistemas de uso integrados a ILPF foi a que apresentou a menor de emissão acumulada de N₂O do solo. Isso decorrente de dois fatores, dos menores valores de PPA (Figura 7) e dos menores teores N mineral do solo (Figura 8 e 9) encontrados nesse sistema, comparado ao ILP. A menor PPA pode estar associada a maior demanda evapotranspirativa do sistema (Figura 16). Isso, devido ao aumento da utilização da água, também pelas árvores.

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. Além da utilização da água pelas árvores, a menor cobertura do solo por resíduos neste sistema (Tabela 1) favoreceu a

perda de água por evaporação. A menor cobertura é reflexo da menor produção de bio-massa das culturas anuais, que as competem com as árvores por luz, água e nutrientes, apresentando uma produção menor, que na ILP. Com o solo menos protegido pelo resíduos das culturas perde água mais rapidamente por evaporação, reduzindo a PPA.

Outro que fator contribui para menor emissão na ILPF foi o menor teor N mineral do solo, NH_4^+ e NO_3^- (Figura 8 e 9). Isso foi confirmado, observando os coeficientes de correlação, entre a quantidade média ponderada de NH_4^+ e NO_3^- do solo e a emissão anual acumulada de N_2O dos sistemas de uso (Figura 17 e 18). A menor concentração de N, na ILPF pode em parte ser resultado da maior utilização do N pelo sistema, pois as árvores competem também pelo N do solo, reduzindo sua concentração no solo, que pode ter contribuído para a menor produção de biomassa das culturas anuais, as quais tem uma ciclagem de nutriente mais rápida que o componente arbóreo, reduzindo assim a quantidade de N disponível no solo, o que reduz também a emissão de N_2O . Isso ficou evidenciado, quando observados a emissão no transecto dentro da ILPF (Figura 03), a qual formou um gradiente de emissão decrescente, do centro da faixa de cultivo em direção a linha de árvores, evidenciando o efeito das arvores, na redução da emissão de N_2O .

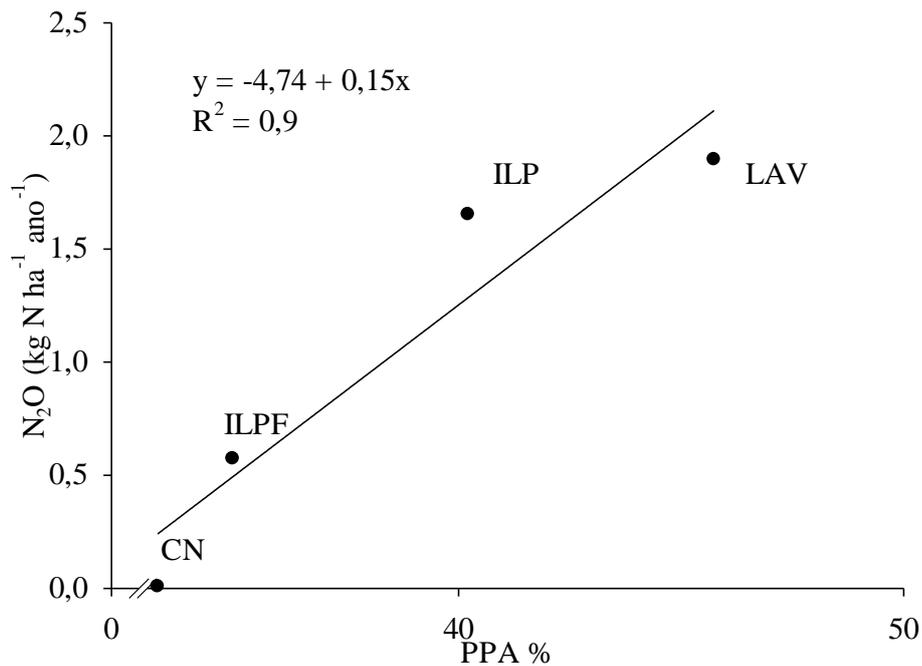


FIGURA 16 – Regressão entre emissão total acumulada de N₂O e a média ponderada anual da porosidade preenchida por água (PPA), do solo, em sistemas de uso: campo nativo (CN); lavoura (LAV); integração lavoura pecuária (ILP); integração lavoura pecuária floresta (ILPF). Ponta Grossa-PR.

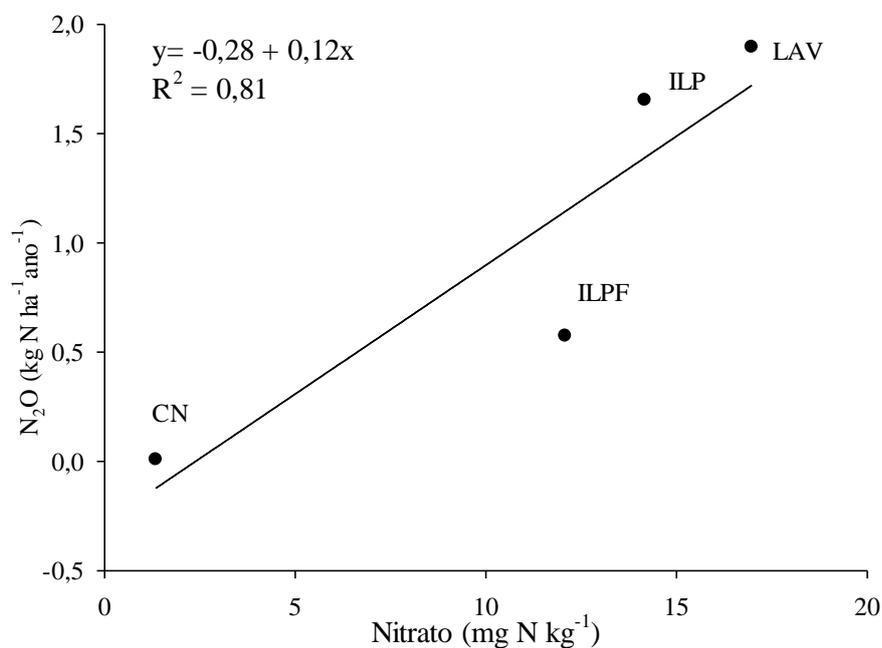


FIGURA 17 – Regressão entre emissão total acumulada de N₂O e a média ponderada anual da concentração de nitrato, do solo, em sistemas de uso: campo nativo (CN); lavoura (LAV); integração lavoura pecuária (ILP); integração lavoura pecuária floresta (ILPF). Ponta Grossa-PR.

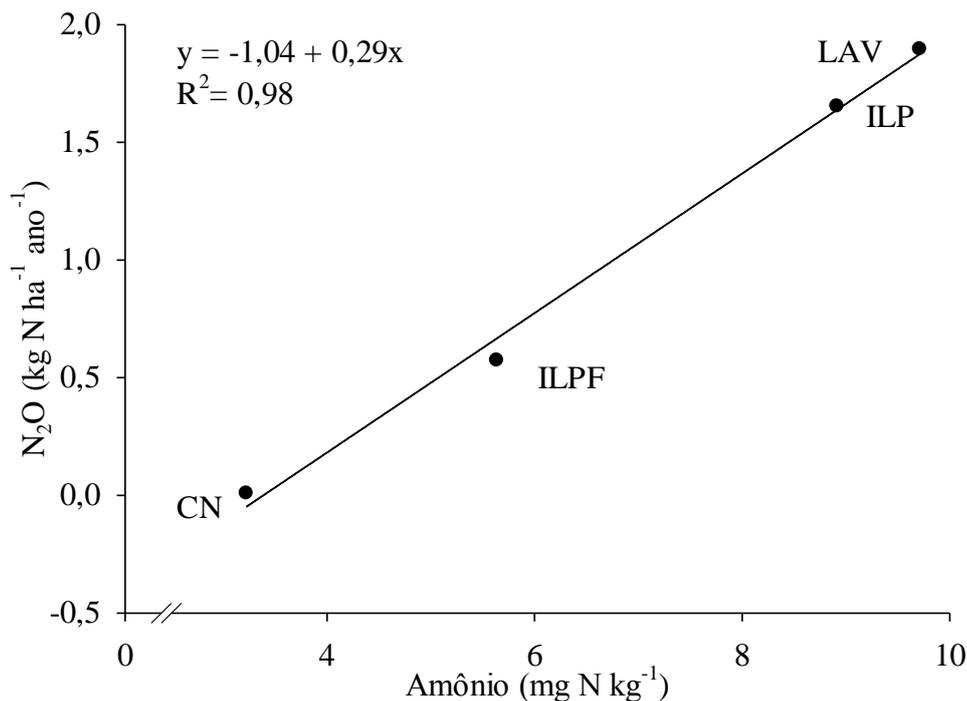


FIGURA 18 – Regressão entre emissão total acumulada de N₂O e a média ponderada anual da concentração de amônio, do solo, em sistemas de uso: campo nativo (CN); lavoura (LAV); integração lavoura pecuária (ILP); integração lavoura pecuária floresta (ILPF). Ponta Grossa-PR.

Com relação aos fluxos de CH₄ durante a maior parte do tempo o solo, em todos os sistemas de uso atuou como um dreno CH₄ atmosférico (Figura 4), não apresentando significativas variações como observado, no fluxo de N₂O (Figura 1). Este predomínio de influxo de CH₄, em solos agrícolas areados é tido como comum, também foi constatado por Piva (2012), em um estudo de campo, sob condições semelhantes. Pois, solo em condições aeradas, bactérias metanotróficas consomem o CH₄, liberando CO₂ (Saggar et al. , 2008).

O único pico de emissão de CH₄, que ocorreu foi no inverno de 2012 na lavoura, com emissão de 18,76 μg C m⁻² h⁻¹, após a aplicação de 90 kg de N ha⁻¹. Esta emissão de CH₄ pode estar relacionada com a aplicação do N mineral, que aumentou a concentração de NO₃⁻ e de NH₄⁺, como pode ser observado nas Figuras 8 e 9. Essa maior quantidade de N mineral, principalmente na forma de NH₄⁺, inibiu a oxidação do CH₄ no solo, devido a competição do íon NH₄⁺ com o CH₄ pela enzima mono-oxigenase, por esta ter pouca especificidade pelo

CH₄, passa oxidar o NH₄⁺ (Bodelier et al., 2004), que associados as condições de PPA mais elevadas, que restringiram a aeração, favoreceram a produção CH₄.

A produção de CH₄ ocorre através de bactérias anaeróbicas, pelo processo chamado de metanogênese (Hütsch, 1998), em condições de baixo potencial redox, com baixo O₂ no solo (Smith et al., 2003). 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 CH₄ para a atmosfera.

A absorção de CH₄ do solo nos sistemas integrados, sob pastagem não diferiu do sistema lavoura (Figura 5). Entre tanto, uma maior oxidação de CH₄ em áreas pastejadas, comparada a áreas exclusivamente agrícolas, já foi relatada em varias regiões no mundo (Saggar et al., 2007; Boeckx & 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), isso relacionado a maior temperatura, no verão e principalmente as melhores condições de aeração do solo.

A maior utilização do nitrogênio no sistema de ILPF pode ter contribuído para a maior absorção de CH₄, onde a correlação da concentração média de NH₄⁺ com a absorção de CH₄, entre os sistemas de uso, mostrou-se significativa (Figura 19). Esta relação fica evidente, no campo nativo onde a concentração de N mineral é extremamente baixa, devido ao predomínio de gramíneas e ausência de aplicação de N, propiciou a maior absorção do CH₄. A menor PPA, resultado da maior demanda de água, que propiciou condição de maior aeração, também contribuindo para maior oxidação de CH₄ (Figura 20).

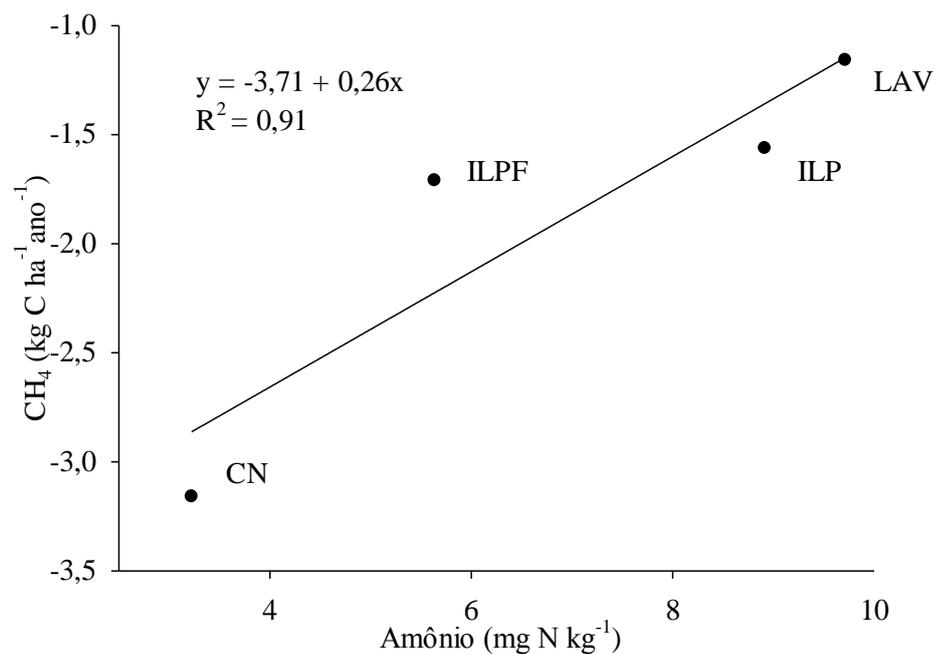


FIGURA 19 – Regressão entre emissão total acumulada de CH₄ e a média ponderada anual da concentração de amônio do solo, em sistemas de uso: campo nativo (CN); lavoura (LAV); integração lavoura pecuária (ILP); integração lavoura pecuária floresta (ILPF). Ponta Grossa-PR.

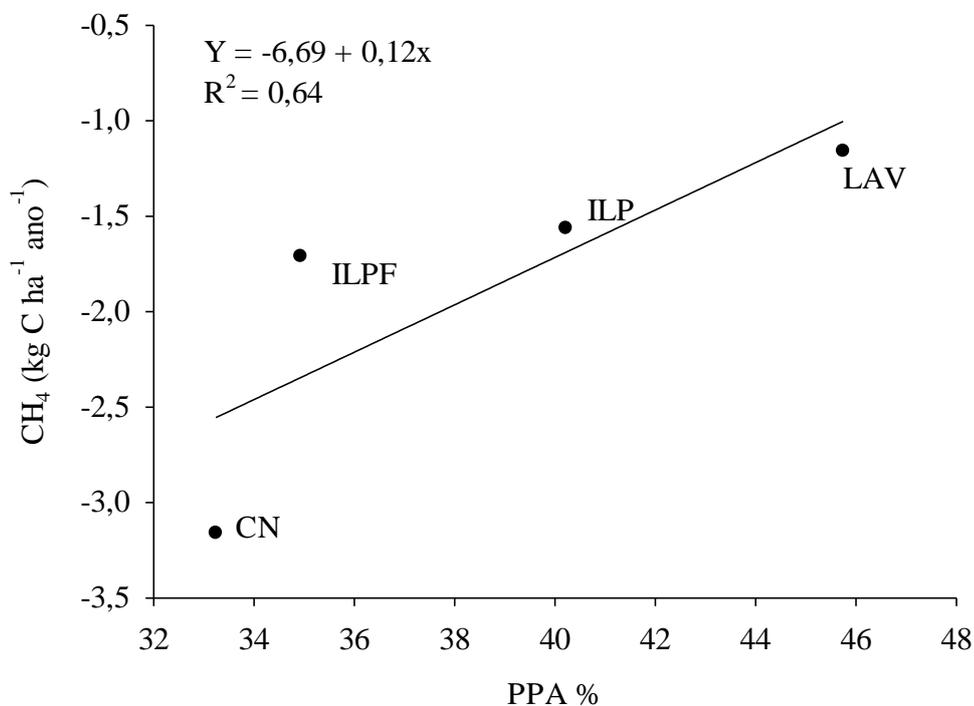


FIGURA 20 – Regressão entre emissão total acumulada de CH₄ e a média ponderada anual da porosidade preenchida por água (PPA), do solo, em sistemas de uso: campo nativo (CN); lavoura (LAV); integração lavoura pecuária (ILP); integração lavoura pecuária floresta (ILPF). Ponta Grossa-PR.

4.2 EMISSÕES A PARTIR DOS DEJETOS BOVINOS

Os fluxos de N_2O , após a deposição de urina e também de esterco no solo se elevaram, com picos ocorrendo até por volta do 5º dia após aplicação (Figura 11). Dados semelhantes foram encontrados por Sordi et al. (2013), e Maljanen et al. (2004), que observaram maiores emissões logo no primeiros dias após a deposição dos dejetos ao solo. Os fluxos de N_2O encontrados logo após a deposição de urina podem estar associados à proporção de N adicionado e ao volume de água que favoreceu a formação de sítios de anaerobiose no solo. Pois, com volume grande de urina aplicado pontualmente (1,725 L, em 0,083m²), valores superiores a 70 % de PPA podem ser alcançados, propiciando condição favorável à emissão de N_2O por desnitrificação (Jantalia et al., 2008; Mkhabela et al., 2006).

A partir do 17º dia após a aplicação, a emissão dos dejetos não diferia da emissão basal do solo (Figura 10). A contribuição da emissão dos dejetos foi pontual, tendo um pico de curta duração, corroborando com outros resultados (Chiavegato, 2010; Saggar et al., 2004).

Com aplicação de urina, a emissão acumulada foi cerca de 7 vezes maior, em comparação aos pontos com esterco (Figura 13). Isso se relaciona com a menor quantidade de N aplicada com esterco por área e em função das formas N orgânicos no esterco, que não estão prontamente disponível para a hidrólise como o N da urina, que está na forma de ureia (Haynes & Williams, 1993) . No esterco, ocorre liberação gradual do N, o que limita os processos de nitrificação e desnitrificação. Outra possibilidade é que uma maior quantidade de N ainda tenha sido mantida dentro do esterco, enquanto todo o N da urina entra no solo imediatamente após a deposição da urina (Sordi et al., 2013).

O fator de emissão (FE) encontrado com esterco (0,11 %) foi menor encontrado a na urina (0,57 %) (Tabela 03). Os FE encontrados estão abaixo dos 2% propostos pelo IPCC (2006) e adotados pelo Ministério da Ciência, Tecnologias e Inovação (MCTI) para formulação dos inventários nacionais dos GEE da Agricultura Brasileira (MCT, 2010). Estes

resultados vão ao encontro por Yamulki et al. (1998) e Van der Weerden et al. (2011), que também relataram menores FE para esterco de 0,19 % e 0,04%, respectivamente.

Para urina vários estudos, também relataram FE menores que os 2% propostos pelo IPCC, (2006) (Sordi et al., 2013; van der Weerden et al., 2011; Hoeft et al., 2012). Uma explicação para o menor FE, encontrado com a urina é a condição de solo. Solos livres bem drenados permitem um fluxo mais profundo da urina no solo, bem como uma maior difusão de O₂, combinado com temperaturas amenas, no inverno, geram menores emissões (Sordi et al., 2013). Uchida et al. (2011) também encontraram interações significativas entre o FE e a temperatura do solo, onde com menores temperaturas observaram, menor emissão de N₂O, em relação a mesma quantidade de N aplicada via urina.

O fluxo emissão de CH₄ aumentou atingindo o pico máximo, no 5º dia após a deposição do esterco (12.329 µg C m⁻² h⁻¹). A partir do 17º dia após deposição do esterco as emissões, de CH₄ cessaram, igualando-se a emissão basal do solo. Cardoso (2012), em um experimento semelhante, também constatou que o fluxo de emissão ocorre, predominantemente nos primeiros dias após a aplicação dos dejetos ao solo. Neste estudo o autor constatou, que quarto dia após a deposição do esterco cerca 90 % da emissão total, já havia ocorrido e aos 14 dias após a deposição dos dejetos ao solo a emissão havia cessado.

A emissão de CH₄ foi observada, apenas nos locais de deposição de esterco, a urina não afetou o fluxo de CH₄ do solo permanecendo igual à emissão basal do solo (sem dejetos). O metano emitido do esterco depositado ao solo tem duas fontes: uma parte produzida ainda no rumem, trazida por efeito de araste, junto com esterco e liberada para atmosfera, após sua deposição ao solo. A outra fonte de CH₄ é a produção de CH₄ na própria placa fecal, por bactérias metanogênicas anaeróbicas, que se beneficiam da condição de alta umidade, presente naturalmente no esterco e baixa oxigenação da placa fecal. Mas após deposição ao solo, inicia-se um processo natural de desidratação do esterco e aumento da oxigenação da

placa fecal, reduzindo a atividade das bactérias metanogênicas ao ponto de sessar a emissão CH_4 , dias após sua deposição (Saggar et al., 2004; Hustch, 1998).

4.3 EMISSÃO GLOBAL DE N_2O E CH_4 DO SOLO

A emissão global do solo, do sistema de uso lavoura, em carbono equivalente, não diferiu do sistema ILP (Figura 15). Sendo, possível aliar a produção agrícola a com a pecuária, sem acarretar em aumento da emissão de gases de efeito estufa. Na ILPF, a inclusão das árvores, único fator que a diferenciou da ILP, propiciou em uma redução da emissão, em carbono equivalente, de aproximadamente $139 \text{ kg C-CO}_2\text{-eq ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Nos sistemas integrados, a emissão global do solo considerou contribuição do esterco e urina, em carbono equivalente. Na ILPF, a emissão, em C-eq devido à deposição de esterco representou 11 % da emissão total e a urina 31 % da emissão total. Na ILP, devido a maior emissão do solo, em comparação com a ILPF, a participação do esterco e da urina foi menor representaram 5 e 13 %, respectivamente da emissão total. Na emissão dos dejetos de um bovino depositados ao solo, a urina tem um potencial de emissão, em C-eq, cerca de 3 três vezes maior que o esterco. Isso porque a emissão de N_2O , que foi maior com a urina, do que com o esterco, também apresenta um potencial de aquecimento global bem maior, se comparado com o CH_4 , o qual foi emitido somente, pelo esterco.

A pequena contribuição dos dejetos, na emissão total deve-se ao curto período de pastejo durante o ano, apenas 75 dias, e está ocorrer no inverno, onde as menores temperaturas contribuem, para menor emissão dos dejetos (Uchida et al., 2011). Nas áreas, de integração lavoura pecuária, com o pastejo no período de inverno, os dejetos depositados no solo, não impactaram muito, na emissão anual, mas aliados a emissão relativa da aplicação de nitrogênio em cobertura, na pastagem, faz com que a maior emissão ocorra, justamente no inverno nas áreas pastejadas.

No sistema de referencia, campo nativo, o influxo de 27 kg C-CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹ foi resultado do baixo fluxo de emissão de N₂O aliado, com o predomínio de influxo de CH₄ durante o ano. Mas este, não representa um sistema de uso do solo, mais eficiente com relação à emissão de GEE, pois não é um sistema produtivo. Além, do que a emissão global, aqui só está considerando unicamente o fluxo de emissão do solo de N₂O e CH₄ do solo e dejetos. Um balanço do potencial de aquecimento global (PAG) dos sistemas, ainda deverá ser feito. Este reunido as informações deste trabalho, com o balanço de carbono no solo, carbono sequestrado nas árvores, emissão da fermentação entérica dos bovinos e demais custos de produção, em equivalente carbono de outros trabalhos que estão em curso, para chegar a emissão dos GEE por unidade de produto (grãos, carne e madeira).

5. CONCLUSÕES

1. A emissão de N_2O na lavoura e integração lavoura pecuária foi superior à emissão da integração lavoura pecuária floresta. A redução deve-se, aos efeitos do componente arbóreo, presente neste sistema. Já com o CH_4 houve influxo em grande parte do tempo, em todos os sistemas de uso, ocorrendo maior influxo de CH_4 , na ILPF e no campo nativo.
2. A aplicação de urina elevou rapidamente a emissão de N_2O do solo e foi o principal dejetos bovino, responsável pela emissão de N_2O . O esterco foi o único responsável pela liberação de CH_4 . Em CO_2 -eq, a urina teve maior contribuição na emissão do que o esterco, porém estes dejetos não impactaram muito na emissão do solo, nos sistemas integrados.
3. A aplicação de ureia aumentou o conteúdo de nitrogênio mineral no solo, que não associado a altos valores de porosidade preenchida por água resultou, em moderados picos de emissão de N_2O para atmosfera.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBURQUER, M.A. Estoques de carbono e nitrogênio e emissões de gases de efeito estufa em latossolo vermelho sob sistemas de culturas em plantio direto. Curitiba, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná, 2012. 90p. (Dissertação - Mestrado).

BALL, B. C.; SCOTT, A. & PARKER, J. P. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. *Soil & Tillage Research*, 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.

BODELIER, P.L.E. & LAANBROEK, H.J. Nitrogen as a regulatory factor of methane oxidation in soils and Sediments. *FEMS Microbiology Ecology*, 47:265-277, 2004.

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.

BOECKX, P. & VAN CLEEMPUT, O. Estimates of N₂O and CH₄ fluxes from agricultural lands in various regions in European Nutrient Cycling Agroecosystems, 60:35–47, 2001.

BOUWMAN, A.F. Direct emissions of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 46:53-70, 1996.

CARDOSO, A. S. Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil Central. Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Seropédica. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2012. 85p (Dissertação - Mestrado)

CASSOL, L. C. Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 143p. (Tese - Doutorado)

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. Piracicaba Programa de pós-graduação em ciências. Centro de energia nuclear na agricultura da Universidade de São Paulo. 2010. 102p. (Dissertação - Mestrado)

CIAMPITTI, I.A.; CIARLO, E.A. & CONTI, M.E. Nitrous oxide emissions from soil during soybean [(*Glycine max* (L.) Merrill)] crop phenological stages and stubbles decomposition period. *Biol Fertil Soils* 44:581-588, 2008.

COSTA, F.S. Estoques de carbono orgânico e efluxos de dióxido de carbono e metano de solos em preparo convencional e plantio direto no Subtropical Brasileiro. Porto Alegre, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 145p. (Tese - Doutorado).

DE KLEIN, C. A. M.; BARTON, L.; SHERLOCK, R. R.; LI, Z.; LITTLEJOHN, R. P. Estimating a nitrous oxide emission factor for animal urine from some New Zealand pastoral soil. *Australian Journal of Soil Research*. 41:381-399, 2003.

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>

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

GOMES, J. Emissão de Gases do Efeito Estufa e Mitigação do Potencial de Aquecimento Global por Sistemas Conservacionistas de Manejo do Solo. Porto Alegre, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 127p. (Tese - Doutorado).

GROENIGEN, V, J.W.; VELTHOF, G. L.; VAN DER BOLT, F. J. E.; VOS, A.; KUIKMAN, P. J. Seasonal variation in N₂O emissions from urine patches: Effects of urine concentration, soil compaction and dung. *Plant and Soil*. 273:15-27, 2005.

HAYNES, R. J. & WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy*, 49:119-199, 1993.

HOEFT, I.; STEUDEB, K.; WRAGEB, N. & VELDKAMPA, E. Response of nitrogen oxide emissions to grazer species and plant species composition in temperate agricultural grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 151:34- 43, 2012.

HOUGHTON, Y.; DING, D. J.; GRIGGS, M.; NOGUER, P. J.; VAN DER LINDEN, J. T. & D. XIAOSU. *The Scientific Basis*. United Kingdom: Climate Change, IPCC, 2001.

HOWELL, F. N. & FRANK. J. *Standard methods of chemical analysis*. 6. ed. 1975.

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.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da pecuária municipal. Dezembro de 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias>

IPCC, 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change. Revised 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 11. N₂O Emissions from Managed Soil, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application. Reference Manual. (IPCC/OECD/IEA: Paris), 2006.

IPCC. Emissions scenarios. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 2000.

IPCC. The physical sciences basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge. Cambridge University Press, 2007.

JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P. dos; 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. *European Nutrient Cycling Agroecosystems*. 82:161-173, 2008.

KHALIL, M.A.K.; RASMUSSEN, R.A. & SHEARER, M.J. Atmospheric nitrous oxide: Patterns of global change during recent decades and centuries. *Chemosphere*, 47:807-821, 2002.

KIMBLE, J.M., LAL, R. & FOLLETT, R.F. Methods of assessing soil C pools. In: Lal, R., Kimble, J.M., Assessment Methods for Soil Carbon. Lewis Publishers, Boca Raton Follett, R.F., Stewart, B.A. 1:3-12, 2001.

MALJANEN, M.; MARTIKKALA, M.; KOPONEN, H. T.; PERTTU, V.; MARTIKAINEN, P.J. Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from experimental excreta patches in boreal agricultural soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 39:914-920, 2007.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. Mudanças climáticas, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços, 2010. Disponível em: <http://www.mct.gov.br>.

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*, Jaboticabal, 24:121-129, 2004.

MKHABELA, M. The impact of management practices and meteorological conditions on ammonia and nitrous oxide emissions following application of hog slurry to forage Grass in Nova Scotia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 130:41-49, 2009.

PIVA, J. T. Fluxo de gases de efeito estufa e estoque de carbono do Solo em sistemas integrados de produção no sub trópico Brasileiro. Programa de pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, 2012. 97p. (Tese - Doutorado).

PIVA, J. T.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MORAES, A.; TOMAZI, M.; PAULETTI, V.; BARTH, G. & PICCOLO, M. C. Soil gaseous N₂O and CH₄ emissions and carbon pool due to integrated crop-livestock in a subtropical Ferralsol. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2013.

ROBERTSON, G. P; GROFFMAN, P. M. Nitrogen transformations. In: PAUL, E. A & CLARK, F. E, *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. 3.ed. Elsevier Science, 2006. p. 341-364.

ROCHETTE, P.; JANZEN, H. Towards a revised coefficient for estimating N₂O emissions from legumes. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 73:171-179, 2005.

SAGGAR, K.; TATE, R.; GILTRAP, D.L. & SINGH, J. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide and methane in New Zealand terrestrial ecosystems and their mitigation options: a review. *Plant Soil*. 309:25-42, 2008.

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.; 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.

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.

SMITH, P. D.; MARTINO, Z.; CAI, D.; GWARY, H.; JANZEN, P.; KUMAR, B.; MCCARL, S.; OGLE, F.; O'MARA, C.; RICE, B.; SCHOLLES, O. SIROTENKO, Agriculture. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge and New York, 2007, p. 499-532.

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.; TIGNOR, M.M.B.; MILLER, H.L. & CHEN, Z. *Climate Change 2007. The Physical Science basis: Summary for policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press, 2007. 996p.

SORDI, A.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; ALBURQYERQUE, M.A.; PIVA, J.T.; ZANATTA, J.A.; TOMAZI, M.; ROSA, C.M. & MORAES, A. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in subtropical Brazilian pastureland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2013.

UCHIDAM, Y.; CLOUGH, T. J.; KELLIHER, F. M.; HUNT, J. E. & SHERLOCK R. R. Effects of bovine urine, plants and temperature on N₂O and CO₂ emissions from a sub-tropical soil. *Plant Soil* 345:171-186, 2011.

VALVERDE, S. R.; MATTOS, A. D. M.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L. & NEIVA, S. A. Oportunidades do mercado de CO₂. *Boletim Informativo. SCBS*, 29:34-37, 2004.

VAN DER WEERDEN, T.J.; LUO, J.; DE KLEIN, C.A.M.; HOOGENDOORN, C.J.; LITTLEJOHN, R.P. & RYS, G.J. Disaggregating nitrous oxide emission factors for ruminant urine and dung deposited onto pastoral soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144:426-436, 2011.

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.

YAMULKI, S.; JARVIS, C.S. & OWEN, P. Nitrous oxide emissions from excreta applied in a simulated grazing pattern. *Soil Biology Biochemical*. 30:491-500, 1998.

YANG, L. & CAI, Z. The effect of growing soybean (*Glycine max. L.*) on N₂O emission from soil. *Soil Biology & Biochemistry* 37:1205–1209, 2005.

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. Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e fontes de nitrogênio. Porto Alegre, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. 93p. (Tese - Doutorado).