

Emissão de N₂O em sistemas de culturas contínuas e culturas-pastagens, sob diferentes sistemas de preparo do solo

Lucía Salvo⁽¹⁾; Cimelio Bayer⁽²⁾; Oswaldo Ernst⁽³⁾; Lorena Buschiazzo⁽⁴⁾; María José Fiorelli⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Estudante de Doutorado; Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Rio Grande do Sul; Porto Alegre, RS; email: lsalvo@fagro.edu.uy; ⁽²⁾ Professor Associado do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Rio Grande do Sul; Porto Alegre, RS; email: cimelio.bayer@ufrgs.br; ⁽³⁾ Professor do Departamento de Produção Vegetal da Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, Paysandú, Uruguay; email: uernst@fagro.edu.uy; ⁽⁴⁾ Bolsistas da Estação Experimental da Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, Paysandú, Uruguay; emails: malobuta@yahoo.com; majofio3@gmail.com.

RESUMO: A emissão de óxido nitroso tem grande importância relativa na determinação do Potencial de Aquecimento Global (PAG) em sistemas agrícolas de sequeiro. O objetivo foi avaliar o efeito dos sistemas de manejo de solo sobre as emissões de N₂O, assim como as principais variáveis de solo e meteorológicas controladoras das emissões de N₂O do solo. Em um experimento de longa duração no Uruguai foram avaliados durante um ano, uma sequência de culturas contínuas (trigo-soja) sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), uma sequência de cultura-pastagem (três anos trigo-soja e três anos de pastagem perene) sob PC e PD e uma sequência de trigo-milho sob PD. A metodologia utilizada foi a de câmaras estáticas e a concentração do gás determinada por cromatografia gasosa. Amônio e nitrato do solo e a porosidade preenchida por água foram determinados nas datas de coleta do gás, e a temperatura do solo, a temperatura do ar e as precipitações diárias foram registradas. As emissões anuais de N₂O estiveram entre 2.13 e 3.88 kg N-N₂O ha⁻¹ ano⁻¹, porém sem diferenças significativas entre os diferentes sistemas. Assim, o PD não emitiu mais N₂O que o PC e também não foi encontrado um efeito residual das pastagens em relação às sequências de culturas contínuas na emissão de N₂O. As emissões estiveram relacionadas fundamentalmente com a porosidade preenchida por água e a disponibilidade de NO₃ no solo. Dada a grande variabilidade temporal das emissões de N₂O, estudos de longa duração devem ser realizados para obter conclusões mais seguras.

Termos de indexação: GEE, plantio direto, leguminosas.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, há grande preocupação com o rápido aumento nas concentrações atmosféricas de Gases de Efeito Estufa (GEE) de origem antropogênica, apontado como a principal causa do aquecimento global (IPCC, 2007).

A agricultura é uma fonte de GEE, sendo que a mesma é relativamente mais importante nos países

onde predomina a atividade agropecuária, como o caso do Uruguai. Porém, ela também tem grande capacidade de reduzir os GEE através de: i) aumentar as remoções de GEE da atmosfera, principalmente através do aumento do estoque de carbono do solo, e ii) reduzir as emissões, utilizando práticas de manejo mais eficientes (Smith et al., 2008).

Inicialmente, os estudos deram grande ênfase ao problema do CO₂ e na capacidade das diferentes práticas agrícolas para sequestrar o carbono atmosférico (Tian et al., 2010).

Na atualidade, tem aumentado o interesse em compreender e quantificar os fluxos de CH₄ e N₂O em ecossistemas terrestres, dado que esses gases também têm uma grande responsabilidade sobre as mudanças climáticas (Tian et al 2010). Em sistemas de agricultura de sequeiro, o CO₂ (variação do estoque de carbono) e o N₂O são os principais GEE em determinar o PAG do sistema.

No Uruguai, tem sido realizados muitos estudos sobre a evolução do carbono orgânico do solo sob os diferentes sistemas agrícolas de sequeiro utilizados (Morón & Sawchik, 2003; Salvo et al., 2010), mas só um trabalho foi publicado sobre emissões de N₂O neste tipo de sistemas (Perdomo et al., 2009).

Assim, os objetivos deste trabalho foram: a) avaliar o efeito dos sistemas de manejo de solo sobre as emissões de N₂O; b) avaliar o efeito residual das pastagens das rotações na emissão de N₂O, em relação a sistemas de agricultura contínua; c) identificar as principais variáveis de solo e meteorológicas controladoras das emissões de N₂O do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

As emissões de N₂O foram avaliadas em um experimento de longa duração instalado no ano 1993 na Estação Experimental Mario A. Cassinoni da Faculdade de Agronomia. A mesma está localizada a 10 km da cidade de Paysandú, Uruguai (32° 21' S y 58° 02' W). A região é sub-úmida (precipitação média anual de 1218 mm), com

temperatura média anual de 17.9 °C e com médias de 12 e 24 °C no inverno e verão respectivamente. Segundo a classificação do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), o solo é um Argiudol típico, com horizonte A de 18 cm, pH 5.7, argila 289 g kg⁻¹, silte 437 g kg⁻¹ e areia 273 g kg⁻¹, sendo representativo da área agrícola do Uruguai. A declividade do terreno é menor que 1%.

Foram avaliados os seguintes tratamentos: i) rotação de culturas contínuas sob preparo convencional, (trigo no inverno, girassol e soja no verão) – **CCPC**; ii) rotação de 3 anos culturas anuais com 3 anos de pastagens perenes sob preparo convencional (fase de culturas: trigo em inverno, girassol e soja no verão) – **CPPC**; iii) rotação de culturas contínuas sob plantio direto, (mesma sequência que i) – **CCPD**; iv) rotação de 3 anos culturas anuais com 3 anos de pastagens perenes sob plantio direto, com culturas de verão C₃ (mesma sequência que ii) – **CPPD**; v) Rotação de culturas contínuas sob plantio direto, com culturas C₄ no verão (trigo no inverno, sorgo e milho no verão) – **CCPD-C4**.

Em todos os casos, as pastagens perenes foram uma mistura de gramíneas e leguminosas, conformadas pelas espécies, *Trifolium repens*, *Lotus corniculatus* e *Festuca arundinacea*.

O experimento tem um delineamento experimental de blocos completos ao acaso, com 3 repetições por tratamento, sendo o tamanho das parcelas de 50 m de comprimento por 10 m de largura.

As coletas de gases começaram em maio de 2011 e foram realizadas pelo prazo de um ano. As mesmas iniciaram logo após o PC, ao final do ciclo das pastagens e início do ciclo das culturas. No inverno todos os tratamentos estavam com trigo, enquanto que no verão quatro tratamentos estavam com soja e só um com milho. O trigo foi adubado com nitrogênio em três momentos, semeadura, Z22 (escala Zadock – início do perfilhamento) e Z30 (alongamento do caule principal), sendo que o milho só foi adubado no estado de V6.

A metodologia utilizada para a coleta de ar foi a de câmaras estáticas, compostas por uma base de alumínio e um topo de polivinil (PVC) (0,2 m de altura e 0,25 m de diâmetro). As bases foram inseridas no solo a 5 cm de profundidade, permanecendo nas parcelas durante todo o período de avaliação para evitar perturbações no solo. A parte exposta na superfície do solo possui uma canaleta para a colocação de água com o objetivo de isolar a atmosfera interna e externa da câmara. As câmaras apresentam uma válvula manual para realizar a amostragem do ar, termômetro para

monitoramento da temperatura interna da câmara e ventilador para a homogeneização do ar dentro da mesma.

Foram colocadas duas câmaras por unidade experimental (consideradas como uma amostra composta), ficando assim 6 câmaras por tratamento.

As coletas foram feitas duas vezes por semana, durante duas semanas, após cada evento (preparo, semeadura, adubação), seguido de uma vez por semana durante um mês e depois quinzenalmente. O horário das coletas foi no intervalo entre as 9:00 e 12:00 horas da manhã (um bloco por hora) e a amostragem foi realizada em três tempos, 0, 15 e 30 minutos de fechada a câmara. Em cada tempo foi determinada a temperatura do solo (0-5 cm) e dentro das câmaras.

As análises dos gases foram realizadas em equipamento Shimadzu GC2014 modelo "Greenhouse" e os fluxos dos gases calculados pela equação:

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

Onde:

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

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

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

O amônio foi determinado usando o método de azul de indofenol descrito por Mulvaney (1996) substituindo o fenol por salicilato de sódio. O conteúdo de NO₃ foi determinado por colorimetria (reação de Griess-Ilosvay) depois da redução a nitrito a través de uma coluna de Cd (Mulvaney, 1996).

Amostras indeformadas dos primeiros 5 cm de solo foram coletada em diferentes momentos do ano para, conjuntamente com a umidade gravimétrica, estimar a porosidade do solo preenchida por água (PPA).

Dados diários de precipitação e temperatura do ar foram obtidos da estação meteorológica automática da estação experimental de Paysandú.

As emissões acumuladas de N_2O dos sistemas avaliados foram submetidas à análise da variância e a diferença entre médias foi avaliada pelo teste de Tukey ao nível de 10% (pela alta variabilidade dessas variáveis).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As precipitações do ano avaliado foram 44% maiores que o registrado na série histórica (1218 mm), sendo 47% maiores no período do trigo e 40% no período das culturas de verão.

Nessas condições, a média de emissão de N_2O do período avaliado foi de $35.6 \mu\text{g}$ de $N-N_2O \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (média de todos os tratamentos) com um valor médio máximo de 487.4, e mínimo de -25.8 (absorção de N_2O). Estes valores variaram segundo o sistema de rotação avaliado, sendo os sistemas de CPPC e CCPD-C4 os que tiveram maiores valores médios de emissão.

Os maiores picos de emissão de N_2O aconteceram durante o período do trigo, onde ocorreram entre 82 e 90% das emissões anuais, dependendo do tratamento considerado. Assim, durante a cultura de verão não foi observado nenhum pico de emissão maior que $100 \mu\text{g}$ de $N-N_2O \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

De forma geral, os picos de emissão (maiores que $100 \mu\text{g}$ de $N-N_2O \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) aconteceram entre a semeadura da cultura de inverno até logo após da adubação no estado de Z22 do trigo (início do perfilhamento) (dados não mostrados). Possivelmente, a ausência de emissão de N_2O após a terceira adubação em Z30 (prévio alongamento do caule principal), tenha sua explicação no menor conteúdo de água registrado durante esse período e nos altos requerimentos da cultura do trigo nesse estado de crescimento. Segundo, McSwiney & Robertson (2005), culturas em crescimento e que estão no momento de maior demanda de nutrientes, competirão efetivamente pelo N mineral do solo, fazendo com que as emissões de N_2O sejam menores.

Assim, os picos de emissão de N_2O ocorreram logo após os períodos de chuva, com aumento da porosidade do solo preenchida por água, e com altos níveis de nitrato no solo antes do evento (por adubação ou mineralização da MOS), condições que estariam favorecendo os processos de emissão por desnitrificação (Passianoto et al., 2003; Laville et al., 2011). Essas duas variáveis também foram as que explicaram os maiores picos de emissão em

uma avaliação anterior realizada no mesmo experimento por Perdomo et al. (2009). Não foram encontradas relações entre as emissões de N_2O e a concentração de amônio ou a temperatura do solo.

As emissões anuais de N_2O estiveram entre 2.13 e $3.88 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, correspondendo esses valores aos sistemas CPPD e CPPC respectivamente (Figura 1). Os sistemas de rotações não se diferenciaram significativamente ($p < 0.10$) nas emissões anuais de N_2O .

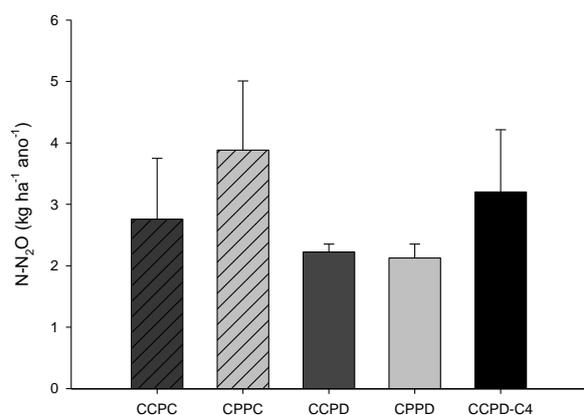


Figura 1 - Emissões acumuladas anuais de N_2O (ano 2011-2012) para os diferentes sistemas de rotações.

Nota: As barras verticais representam o erro padrão da média. **CCPC**: cultura contínua sob preparo convencional, **CPPC**: cultura-pastagem sob preparo convencional, **CCPD**: cultura contínua sob plantio direto, **CPPD**: cultura-pastagem sob plantio direto, **CCPD-C4**: cultura contínua sob plantio direto com inclusão de espécie C4 no verão.

Ainda assim, as magnitudes das emissões nas sequências sob PC foram em média 53 % maiores de aquelas encontradas nas mesmas sequências sob PD. A ausência de diferenças entre sistemas de preparos coincide com o reportado por outros autores (Parking & Kaspar, 2006; Perdomo et al., 2009). Porém, não existe consenso no efeito dos preparos do solo sobre a emissão de N_2O , tendo estudos que mostram maior emissão nos sistemas de PD em relação ao PC (Escobar, 2011) e outros o efeito contrário (Halvorson et al., 2008).

Contrariamente ao reportado por Snyder et al. (2009), a passagem da fase de pastagem para a fase de culturas não gerou maiores emissões de N_2O que aqueles sistemas que vinham com culturas contínuas. É possível que a composição das pastagens no momento de realizar os preparos tenha influenciado nesse resultado, pois foi observada uma predominância das espécies gramíneas sobre as leguminosas (não quantificado).



É importante salientar que as emissões anuais apresentadas na **figura 1** correspondem a um ano de avaliação, e dada as grandes variações climáticas entre anos, as mesmas podem sofrer variações nas suas magnitudes. Medições em vários anos são ainda mais importantes para as rotações com pastagens, que além das variações interanuais, tem duas fases contrastantes (3 anos de pastagem - 3 anos de culturas). Assim, um valor de emissão anual dessas rotações deveria ser calculado como a média das emissões das duas fases.

CONCLUSÕES

Os resultados são promissores, uma vez que mesmo em um ano com chuvas 44% acima da média anual, os sistemas de manejo de solo considerados conservacionistas, desde o ponto de vista de manter ou aumentar os níveis de COS e a capacidade produtiva do mesmo, não aumentaram as emissões de N₂O em relação ao sistema de agricultura contínua sob PC.

A passagem da fase de pastagem para a fase de culturas não aumentou as emissões de N₂O em relação às sequências de culturas contínuas.

As emissões de N₂O estiveram relacionadas fundamentalmente com a porosidade preenchida por água e a disponibilidade de NO₃ no solo. Assim, um manejo eficiente da adubação nitrogenada é de grande importância na mitigação das emissões de N₂O.

Dada a grande variabilidade temporal das emissões de N₂O, estudos de longa duração devem ser realizados para obter conclusões mais seguras.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Agronomia da UFRGS, FAPERGS e CNPq pela estrutura laboratorial e à Facultad de Agronomia de la Universidad de la Republica pela estrutura de campo.

REFERÊNCIAS

ESCOBAR, L.F. Mitigação das emissões de gases de efeito estufa por sistemas conservacionistas de manejo de solo. Tese Doutorado. Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.89 p.

HALVORSON, A.D.; DEL GROSSO, S.J.; REULE, C.A. Nitrogen, tillage, and crop rotation effects on nitrous oxide emissions from irrigated cropping systems. *J. Environ. Qual.*, 37:1337-1344, 2008.

IPCC. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 2007. 104 p.

LAVILLE, P. ; LEHUGER, S. ; LOUBET, B. ; et al. Effect of management, climate and soil conditions on N₂O and NO emissions from an arable crop rotation using high temporal resolution measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151:228-240, 2011.

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

MORON, A. & SAWCHIK, J. Soil quality indicators in a long-term crop-pasture rotation experiment in Uruguay. *In* 40 años de rotaciones agrícolas-ganaderas. Serie Técnica 134, INIA La Estanzuela. 2003. p. 67-76.

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

PARKIN, T.B & KASPAR, C.K. Nitrous Oxide Emissions from Corn–Soybean Systems in the Midwest. *J. Environ. Qual.*, 35:1496–1506, 2006.

PASSIANOTO, C.; AHRENS, T.; FEIGL, B.J.; ET AL. Emissions of CO₂, N₂O, and NO in conventional and no-till management practices in Rondônia, Brazil. *Biol Fertil Soils*, 38:200–208, 2003.

PERDOMO, C.; IRISARRI, P.; ERNST, O. Nitrous oxide emissions from an Uruguayan argiudoll under different tillage and rotation treatments. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 84:119-128, 2009.

SALVO, L.; HERNANDEZ, J.; ERNST, O. Distribution of soil organic carbon in different size fractions, under pasture and crop rotations with conventional tillage and no-till systems. *Soil Till. Res.*, 109:116–122, 2010.

SMITH, P.; MARTINO, D.; ZUCONG, C.; et al. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Phil.Trans. R.Soc. B.*, 363:789-813, 2008.

SNYDER, C.S.; BRUULSEMA, T.W.; JENSEN, T.L.; et al. Review of greenhouse gas emission from crop production system an ertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystem and Enviroment*, 133:247-266, 2009.

TIAN, H.; XU, X.; LIU, M; et al. Spatial and temporal patterns of CH₄ and N₂O fluxes in terrestrial ecosystems of North America during 1979-2008: application of a global biogeochemistry model. *Biogeosciences*, 7:2673–2694, 2010.