

Emissões de óxido nitroso do solo sob sistema integração pecuária-floresta e cultivo de eucalipto no cerrado piauiense

Emissions of nitrous oxide from the soil under a forest-livestock integration system and eucalyptus cultivation in the cerrado of Piauí

Emisiones de óxido nitroso en el suelo bajo un sistema de integración ganadería-bosque y cultivo de eucalipto en el cerrado de Piauí

Recebido: 06/01/2023 | Revisado: 19/01/2023 | Aceitado: 20/01/2023 | Publicado: 23/01/2023

João Rodrigues da Cunha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6990-3361>

Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF 7ª SR, Brasil

E-mail: joao.cunha@codevasf.gov.br

Adriano Veniciús Santana Gualberto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1764-5564>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: a.vsg@hotmail.com

Vanusa Suelma Viana dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2735-1041>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: vanfla1@hotmail.com

Renato Falcores Vogado

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3282-7363>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: renatoagro86@hotmail.com

Luiz Fernando Carvalho Leite

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9648-705X>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasil

E-mail: luiz.f.leite@embrapa.br

Resumo

Objetou-se com este trabalho, avaliar o fluxo de óxido nitroso (N₂O) em sistemas de cultivo exclusivo com eucalipto (CEE) e sistema de integração-pecuária-floresta (IPF). O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Chapada Grande em Regeneração-PI, onde foram selecionados dois sistemas de manejo do solo (CEE e IPF), para avaliação das emissões de N₂O. As coletas de gases foram realizadas por meio de câmaras estáticas e foram calculadas emissões diárias e acumuladas. Os fluxos médios de N₂O encontrados nos sistemas de CEE e IPF foram baixos durante a avaliação, sendo constatados valores negativos, indicando consumo deste gás no solo. No CEE o maior pico de emissão foi observado no início da avaliação, enquanto no IPF, o maior pico foi observado no final. Estas variações nos dois sistemas em estudo se devem aos eventos de precipitação pluviométrica ocorridos no período de avaliação. De maneira geral, as emissões ocorridas no IPF foram maiores em relação aos observados no CEE, o pode ser atribuído aos efeitos da compactação do solo, provocada pela presença de animais durante o pastejo, como também, pela liberação de dejetos como fezes e urina por esses animais. Com relação às emissões acumuladas de N₂O ao longo do período de avaliação, os valores são baixos nos dois sistemas, porém no IPF as emissões foram maiores. As emissões de N₂O nos dois sistemas avaliados estão associados principalmente a eventos pluviométricos. O sistema IPF é menos eficiente em relação ao cultivo de eucalipto na mitigação de gases do efeito estufa como N₂O.

Palavras-chave: Sistema integrado de produção; GEE's; Qualidade do solo.

Abstract

The objective of this work was to evaluate the flow of nitrous oxide (N₂O) in exclusive cropping systems with eucalyptus (CEE) and integration-animal-forest system (IPF). The work was developed at the Chapada Grande Farm in Regeneração-PI, where two soil management systems (CEE and IPF) were selected to evaluate N₂O emissions. Gas samples were collected using static chambers and daily and accumulated emissions were calculated. The mean N₂O fluxes found in the CEE and IPF systems were low during the evaluation, with negative values indicating the consumption of this gas in the soil. In the CEE, the highest emission peak was observed at the beginning of the evaluation, while in the IPF, the highest peak was observed at the end. These variations in the two systems under study are due to rainfall events occurring during the evaluation period. In general, the IPF emissions were higher than

those observed in the CEE. This can be attributed to the effects of soil compaction caused by the presence of animals during grazing, as well as by the release of waste products such as feces and urine. These animals. Regarding the accumulated emissions of N_2O over the evaluation period, the values are low in both systems, but in the IPF the emissions were higher. The N_2O emissions in the two evaluated systems are mainly associated with rainfall events. The IPF system is less efficient in relation to eucalyptus cultivation in the mitigation of greenhouse gases like N_2O .

Keywords: Integrated production system; GEE's; Soil quality.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar el flujo de óxido nitroso (N_2O) en sistemas de cultivo exclusivo con eucalipto (CEE) y sistema integrado-ganadero-forestal (IPF). El trabajo se realizó en la Hacienda Chapada Grande en Regeneração-PI, donde se seleccionaron dos sistemas de manejo de suelos (CEE e IPF) para la evaluación de las emisiones de N_2O . Las captaciones de gases se realizaron mediante cámaras estáticas y se calcularon las emisiones diarias y acumuladas. Los flujos promedio de N_2O encontrados en los sistemas CEE e IPF fueron bajos durante la evaluación, encontrándose valores negativos, indicando consumo de este gas en el suelo. En CEE, el pico de emisión más alto se observó al inicio de la evaluación, mientras que en IPF, el pico más alto se observó al final. Estas variaciones en los dos sistemas en estudio se deben a eventos de lluvia ocurridos durante el período de evaluación. En general, las emisiones ocurridas en la IPF fueron superiores a las observadas en la CEE, lo que puede atribuirse a los efectos de la compactación del suelo, provocada por la presencia de animales durante el pastoreo, así como a la liberación de desechos como heces y la orina de estos animales. En cuanto a las emisiones de N_2O acumuladas durante el período de evaluación, los valores son bajos en ambos sistemas, pero en el IPF las emisiones fueron mayores. Las emisiones de N_2O en los dos sistemas evaluados están asociadas principalmente a eventos de lluvia. El sistema IPF es menos eficiente en comparación con el cultivo de eucalipto en la mitigación de gases de efecto invernadero como el N_2O .

Palabra clave: Sistema integrado-ganadero-forestal; GEE's; Calidad del suelo.

1. Introdução

As últimas décadas têm sido acompanhadas de discussões, relacionadas às mudanças climáticas globais, com reflexos no aumento da temperatura do planeta, provocando o aquecimento global (Signor & Cerri, 2013). Tais alterações climáticas são decorrentes principalmente do aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera (IPCC, 2007; Prusty et al., 2014). Entre estes gases, maior relevância deve ser dada ao óxido nitroso (N_2O), pois, apesar de ser emitido para a atmosfera em quantidades bem menores, tem maior potencial para contribuir com o efeito estufa em relação ao dióxido de carbono (CO_2), pois, apresenta um poder de aquecimento de 298 vezes maior (Cerri 2007; Tomlinson et al., 2013). Além disso, sua concentração na atmosfera está em crescente ascensão, com aproximadamente 325 ppb, com aumento de 18%, em relação ao ano de 1950, com valores próximos a 275 ppb (Masters e Ela, 2008). Este incremento tem sido associado ao crescimento das diversas atividades antropogênicas, como a queima de combustíveis fósseis, urbanização, queimadas, desmatamento e atividades agropecuárias (Mcti, 2016).

As práticas agropecuárias que normalmente favorecem o aumento das emissões de N_2O estão associadas principalmente ao uso de fertilizantes nitrogenados e dejetos de animais, o revolvimento do solo, incorporação de resíduos vegetais, dentre outros (Wassmann & Vlek, 2004). Estas práticas aceleram os processos de nitrificação e desnitrificação, onde resultam na produção de N_2O (Signor e Cerri 2013). A nitrificação é o processo de oxidação de amônio à nitrito ou nitrato (Dalal et al., 2003), a qual é realizada inicialmente por bactérias *Nitrossomonas sp*, em que o NH_4^+ é oxidado a nitrito (NO_2^-), que em seguida é oxidado a nitrato (NO_3^-) por ação das bactérias do gênero *Nitrobacter sp* (Harrison & Webb, 2001; Moreira & Siqueira, 2006). Por outro lado, a desnitrificação é o processo de oxidação biológica em que o NO_3^- é reduzido aos gases de N (nitrogênio), dentre eles o N_2O (óxido nitroso), através da ação de bactérias anaeróbicas facultativas (Moreira & Siqueira, 2006; Thomson, 2012).

A quantidade de N_2O produzido no solo é determinada pela disponibilidade de NO_3^- , temperatura, o pH do solo, a presença de NH_4 , compactação, umidade, carbono dissolvido, entre outros fatores (Braga, 2011; Siqueira Neto et al., 2011). Apesar da importância existem poucos trabalhos medindo as emissões diretas de óxido nitroso na agricultura brasileira

(Oliveira, 2014), e sobretudo na região dos cerrados em diferentes formas de uso da terra (Tomazi et al., 2013). Nogueira et al., (2016) em estudo avaliando a emissão de N₂O em sistemas com eucalipto no cerrado brasileiro, constaram maiores valores de emissão nos sistemas floresta de eucalipto, pastagem e sistema integrado lavoura-pecuária-floresta, em relação à lavoura de soja em rotação com milho.

Na maior parte dos estudos, tem sido observado que sistemas de uso da terra, com ausência de revolvimento do solo e incorporação de resíduos vegetais, podem influenciar nas emissões de N₂O. Dessa forma, ressalta-se a necessidade de avaliar as emissões deste gás em diferentes sistemas de manejo do solo, para melhor compreensão das fontes emissoras de GEE a fim de colaborar com um diagnóstico mais exato para a adoção de sistemas de produção que mitiguem as emissões N₂O para atmosfera (Siqueira Neto et al., 2011).

Nesse contexto, e considerando de condições edafoclimáticas do cerrado piauiense, estes estudos tornam-se mais necessários ainda, haja vista que não existem trabalhos, avaliando as emissões de N₂O. Diante disso, objetivou-se com este trabalho, avaliar os efeitos dos sistemas cultivo exclusivo com eucalipto e sistema de integração-pecuária-floresta sobre as emissões de N₂O no cerrado piauiense.

2. Metodologia

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Chapada Grande, localizada no município de Regeneração - PI, (06°21'03" S, 42°28'79" W), e altitude de 374 metros. O clima da região é classificado segundo Köppen como As, a temperatura média é de 26,4 °C e a pluviosidade média anual é de 1371 mm (Climate-Data, 2014). O solo foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (Ibiapina et al., 2014), apresentando as características químicas e físicas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química na camada de 0-10cm de um Latossolo Amarelo, submetido à diferentes sistemas de manejo no cerrado piauiense.

Sistemas	pH	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	MO	Argila	Ds
	(H ₂ O)	mg dm ⁻³		----- cmolc dm ⁻³ -----			g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	kg dm ⁻³
CEE	4,71	9,39	0,13	3,71	0,09	2,20	52,6	571	0,76
IPF	5,62	17,42	0,18	4,19	1,16	0,55	53,9	586	0,95

MO: matéria orgânica; Ds: densidade do solo; CEE: cultivo exclusivo de eucalipto; IPF: integração pecuária-floresta. Fonte: Elaborada pelos autores.

Para a avaliação das emissões de N₂O foram utilizados dois sistemas de produção ou sistemas de manejo do solo que são Cultivo exclusivo de eucalipto (CEE) e Integração Pecuária-floresta (IPF). Estes sistemas de manejo do solo já são praticados na Fazenda Chapada Grande a mais de 10 cinco anos, conforme apresentado na Tabela 2.

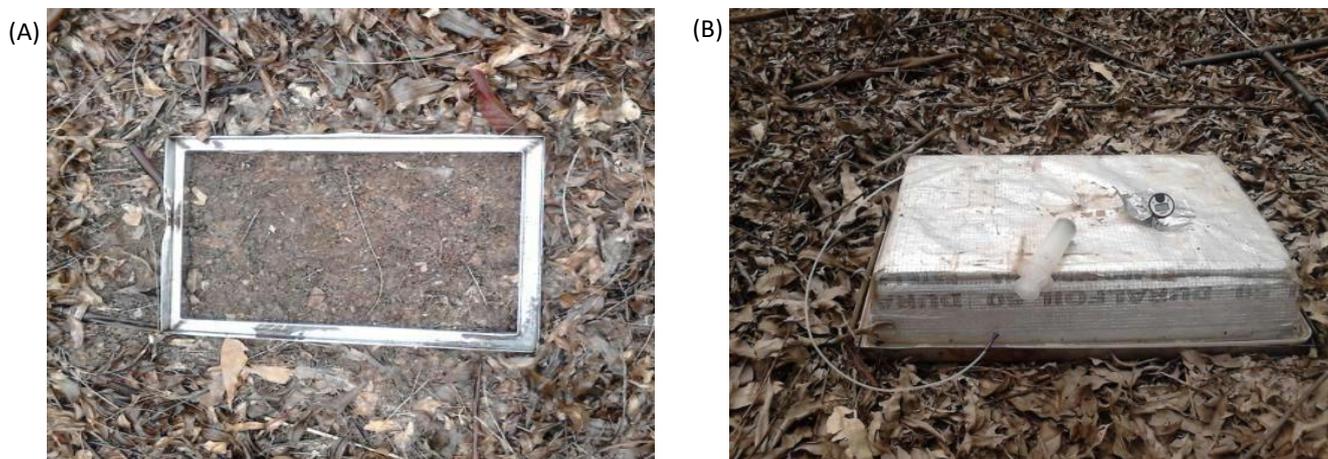
Tabela 2 - Histórico dos sistemas de manejo do solo, utilizados para avaliação da emissão de N₂O na Fazenda Grande, Regeneração-PI.

Sistemas de manejos	Histórico
CEE	O plantio foi realizado em 2008, com espaçamento de 3 x 2 m, utilizando clones MA-2000. Foi aplicado 2 t ha ⁻¹ de calcário dolomítico, e 150 kg ha ⁻¹ de NPK (06-30-06) na fundação e 110 kg ha ⁻¹ de NPK (22-00-22), em cobertura nos primeiros anos. Neste sistema há uma densa camada de serapilheira.
IPF	Formado pelo consórcio de eucalipto com Braquiaria. O plantio foi realizado em 2012, com espaçamento de 2 m entre plantas na renques de fileiras triplas e cerca de 30 m entre renques, utilizando clones MA-2000. Foi aplicado 2 t ha ⁻¹ de calcário dolomítico, e 150 kg ha ⁻¹ de NPK (06-30-06) na fundação e 110 kg ha ⁻¹ de NPK (22-00-22), em cobertura nos primeiros anos.

CEE: cultivo exclusivo de eucalipto; IPF: integração-pecuária-floresta. Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 2, é composta por informações sobre os sistemas de manejos que foram utilizados para realização da pesquisa. O aporte anual de resíduos orgânicos nos sistemas de manejo estudados são de 19,23 e 24,86 Mg ha⁻¹ nos sistemas de CEE e IPF, respectivamente. As coletas foram realizadas por meio de câmaras estáticas modelo base-topo, um dispositivo composto por uma base metálica e uma câmara de PVC, conforme ilustrado na figura Figura 1. As câmaras estáticas, são formadas por uma base metálica de dimensões de 60 cm de comprimento, 40 cm de largura e 12 cm de altura (Parkin & Venterea, 2010).

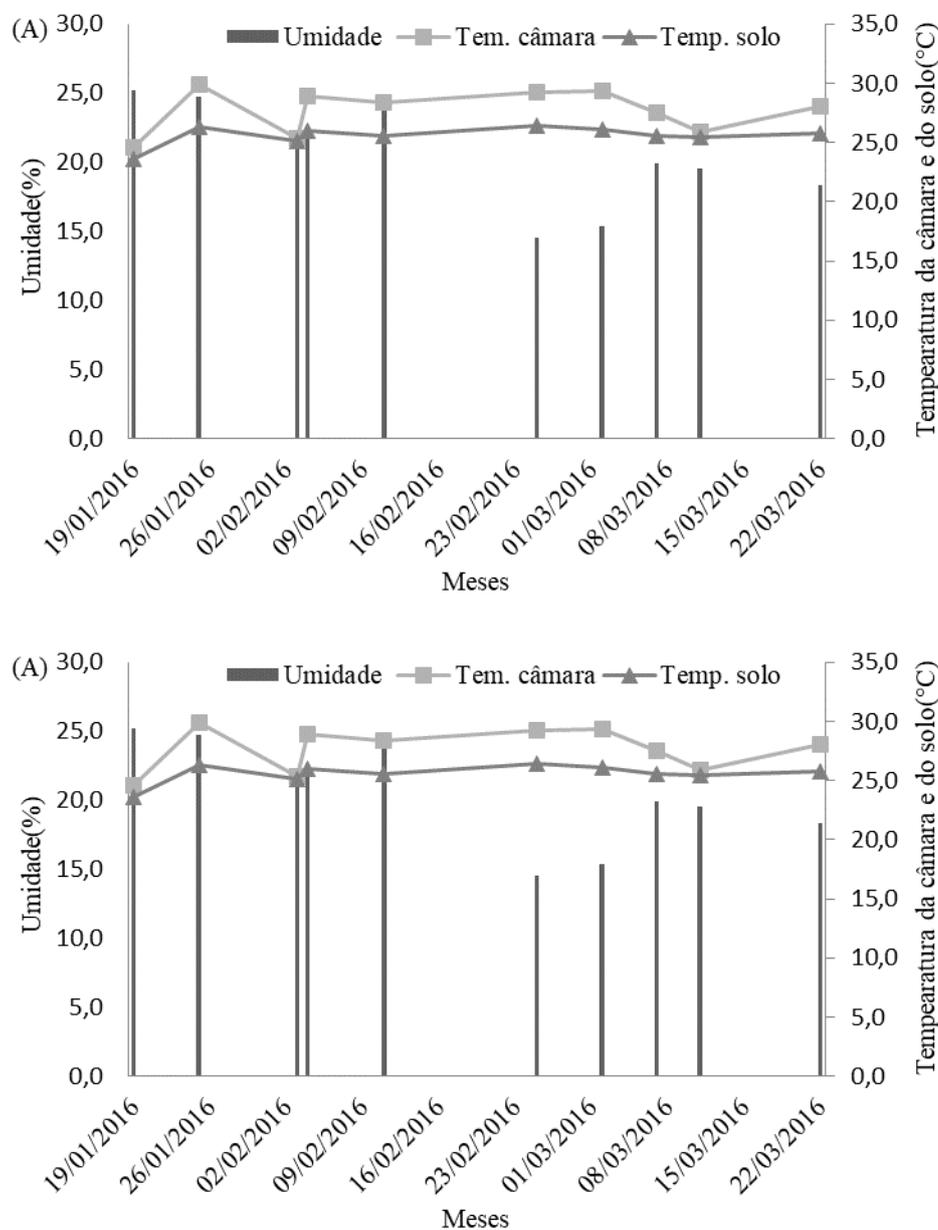
Figura 1 - Base metálica inserida no solo (A) e câmara estática, instalada no campo, feito com bandeja de policloreto de vinil revestido com manta térmica, utilizada para captura das amostras do ar, para realização das análises para determinação de óxido de nitroso.



Fonte: Imagens dos autores.

As bases metálicas foram inseridas no solo até a profundidade de 5 cm, que permaneceram fixadas no local durante o período de avaliação, que compreendeu os meses de janeiro à março de 2016. Os topos das câmaras estáticas (Figura 2b) foram feitos com bandejas de policloreto de vinil, com dimensões de 60 x 40 x 10 cm, de comprimento, largura e altura, respectivamente, com um tubo de ventilação de aproximadamente 10 cm de comprimento e 4,8 mm de diâmetro inserido na lateral, e revestimento de manta térmica refletiva, para diminuir a temperatura interna das câmaras (Parkin & Venterea, 2010).

Figura 2 - Umidade do solo e temperatura do solo, nos dias de coleta das amostras de gases, nos dois sistemas de manejo avaliados. A. Cultivo exclusivo de eucalipto; B. Integração pecuária-floresta.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Na parte de cima do topo da câmara estática foi feito um encaixe com torneiras de três vias para inserção de seringas de polipropileno de 20 cm². Na parte lateral da câmara foi instalado um tubo para ventilação interna. Para realização das coletas de amostras de gases, os topos eram levados a campo e encaixados nas bases todos os dias de coleta. Após alocar as câmaras como um todo (base-topo) no solo, foi realizada a coleta de uma amostra de ar atmosférico (cerca de 20 cm³) próxima a base com auxílio da seringa. Em cada sistema de manejo, foram utilizadas cinco câmaras, correspondendo a cinco repetições. Em cada dia de avaliação, foram coletadas 3 amostras de gases por câmara, em três tempos diferentes: 0; 10 e 30 minutos após o fechamento da câmara. Com os dados, foram calculadas os fluxos diários e as emissões acumuladas de óxido nítrico. Conforme Parkin e Ventera (2010), os tempos de coleta não devem ultrapassar o tempo de 60 minutos, sendo necessário a coleta do tempo zero com no mínimo mais três tempos, visando facilitar o cálculo do fluxo pela equação. O tempo

de 60 minutos pressupõe-se que as concentrações dos gases estejam estabilizadas dentro da câmara, ou seja, não há mudança no fluxo de emissão. As amostras foram coletadas no início da manhã (entre 7 e 10 horas), conforme o proposto por Alves et al. (2012), armazenadas em frascos e foram encaminhadas para análise.

A temperatura da câmara e a temperatura do solo na profundidade de 10 cm, foi medida por meio de termômetro digital. A umidade do solo foi calculada gravimetricamente a partir de amostras de solo (0-10 cm) coletadas no momento da amostragem de gases e posteriormente secas em estufa a 105 °C até peso constante (Figura 2).

As concentrações de N₂O foram analisados na Embrapa Agrobiologia, por meio de cromatógrafo gasoso equipado com coluna empacotada de Porapak Q e detector de captura de elétrons, com injeção manual. A partir da variação das concentrações desse gás no interior da câmara, do volume e da área de cada câmara, da temperatura do solo no momento da coleta e da pressão atmosférica foram calculados, para cada dia de avaliação, os fluxos de N₂O em cada câmara pela equação descrita por Barton et al. (2008):

$$FN_{2O} = \delta C / \delta t (V/A) M / V_m,$$

onde:

FN_{2O}: Fluxo de N₂O, expresso em µg N-N₂O m⁻² h⁻¹;

δC/δt: variação de concentração de N₂O na câmara no intervalo de medição.

V: Volume da câmara

A: Área do solo coberto com a câmara

M: Peso molecular do N₂O

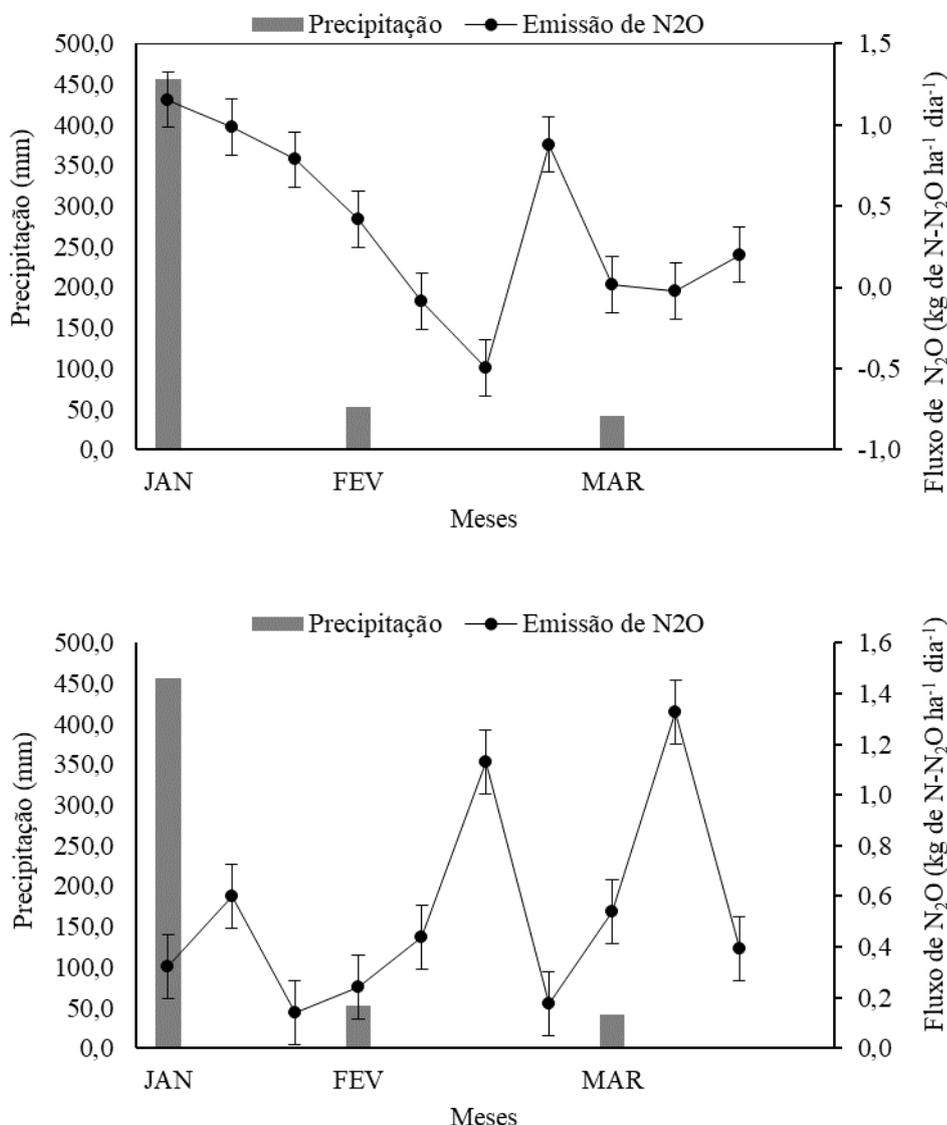
V_m: o volume molar nas condições normais de temperatura e pressão.

Os fluxos diários de N₂O foram tabulados em planilha eletrônica. Para cada parcela, as quantidades totais de N₂O emitidas durante o período de avaliação (emissão acumulada) foram estimadas por meio da integração matemática das curvas dos fluxos diários. Baseado nos fluxos diários de óxido nitroso nas câmaras alocadas no ensaio experimental, foram calculados os fluxos médios para cada dia de avaliação (considerando a média das cinco câmaras correspondentes às repetições). Os fluxos diários e as emissões acumuladas foram comparados pelo erro padrão da média.

3. Resultados e Discussão

Os fluxos médios de N₂O encontrados nos sistemas de CEE e IPF foram baixos durante todo período de avaliação, sendo constatados alguns valores negativos, indicando consumo deste gás no solo (Figura 3).

Figura 3 - Fluxo médio de N₂O durante o período de janeiro à março de 2016, em diferentes sistemas de manejo do solo em Regeneração-PI. a. Cultivo exclusivo de eucalipto; b. Integração- pecuária-floresta.



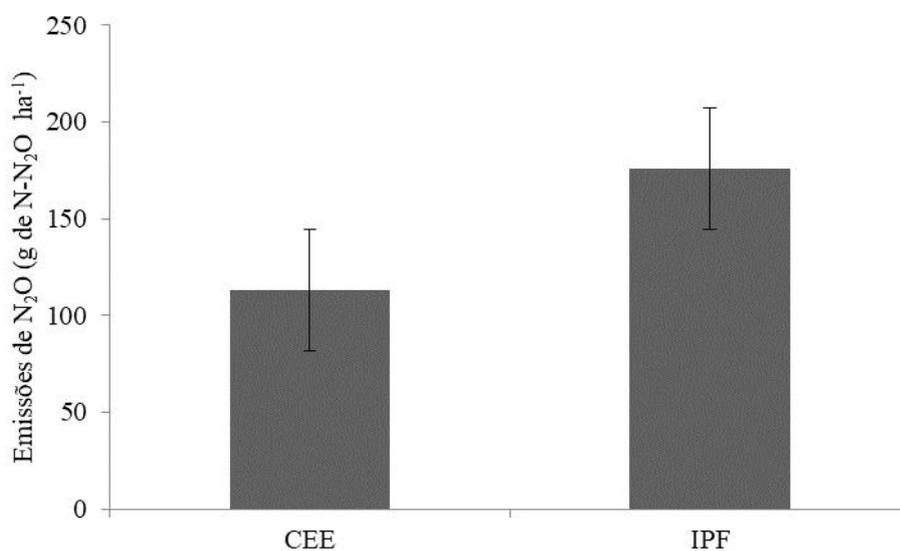
Fonte: Elaborada pelos autores.

Observando a Figura 3, constatou-se que no sistema de manejo CEE, a maior emissão foi observada em janeiro no início da avaliação, quando se observou um pico de emissão de 1,15 kg de N-N₂O ha⁻¹ dia⁻¹, que em seguida reduziu-se consideravelmente atingindo valores negativos (-0,49 kg de N-N₂O ha⁻¹ dia⁻¹) no mês de fevereiro, quando foi observado o menor valor. Entre os meses de fevereiro e março, houve novamente elevação nas emissões que posteriormente reduziram-se até o final do período avaliado. No IPF, as emissões variaram de 1,32 à 0,14 kg de N-N₂O ha⁻¹ dia⁻¹, com maior pico de emissão no mês de março. Estas variações nos dois sistemas em estudo se devem principalmente aos eventos de precipitação pluviométrica ocorridos no período de avaliação. Verificaram-se incrementos nas emissões logo após a precipitação pluvial, o que pode ser explicado pela elevação da umidade do solo e consequentemente do percentual do espaço poroso preenchido por água, que por sua vez, é uma importante fonte reguladora dos processos de nitrificação e desnitrificação (Hu et al., 2017). Os eventos pluviométricos promovem elevação da umidade do solo que, por conseguinte causa o déficit de oxigênio, favorecendo a desnitrificação, principal processo na produção de N₂O no solo (Davidson et al., 2000).

De maneira geral, as emissões ocorridas no IPF foram maiores em relação aos observados no CEE, o pode ser atribuído aos efeitos da compactação do solo, provocada pelo pisoteio dos animais durante o pastejo, como também, pela liberação de dejetos como fezes e urina por esses animais. Estes compostos quando depositados no solo podem provocar um aumento da atividade microbiana elevando o consumo de O_2 , podendo gerar sítios de anaerobiose no solo, favorecendo o processo de desnitrificação (Giacomini et al., 2006). O fornecimento de nitrogênio e carbono por meio da deposição de dejetos em áreas de pastejo aumentaram a atividade dos microrganismos no solo, promovendo a liberação de N_2O (Sordi et al., 2014).

Com relação às emissões acumuladas de N_2O ao longo do período de avaliação, os valores são baixos nos dois sistemas, apesar de serem maiores no IPF (Figura 4).

Figura 4 - Emissão total de N_2O durante o período de janeiro à março de 2016, em diferentes sistemas de manejo do solo em Regeneração-PI. CEE: Cultivo exclusivo de eucalipto; IPF: Integração- pecuária-floresta.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Figura 4, consta as emissões acumuladas de N_2O obtidas durante o período avaliativo, sendo constatado maior emissão do gás no sistema de manejo do solo IPF. Os valores obtidos neste trabalho são menores que os alcançados por Corrêa et al. (2016), que obtiveram valores na ordem de 1600 g de N- N_2O ha⁻¹, em sistema de integração-pecuária-floresta, com eucalipto, sendo que tais resultados são em decorrência das adubações nitrogenadas realizadas na pastagem que compõe o sistema. A ausência de práticas agrícolas como aplicações de fertilizantes nitrogenados pode explicar as baixas emissões de N_2O no presente trabalho.

Além disso, os baixos valores observados neste estudo podem ser também atribuídos à baixa taxa de decomposição dos resíduos do eucalipto que forma estes sistemas, o que pode ter favorecido o consumo de óxido nitroso pelas bactérias. Nogueira et al. (2016), observaram comportamento semelhante em estudo da emissão de óxido nitroso em sistemas com eucalipto no cerrado brasileiro. Estes autores constaram valores variando de emissão 0,2 à 0,3 kg ha⁻¹ de N_2O nos sistemas floresta de eucalipto, pastagem e sistema integrado lavoura-pecuária-floresta, menores que na lavoura de soja em rotação com milho, com valores de 1,5 kg de N_2O ha⁻¹. Ainda de acordo com os autores a baixa emissão de óxido nitroso em sistemas com a presença do eucalipto, é atribuída tanto à baixa taxa de decomposição dos resíduos da serapilheira, por apresentar provavelmente alta relação C/N, como também ao aporte de amônio pela pastagem que compõe estes sistemas, contribuindo também para o consumo de óxido nitroso no solo.

As maiores emissões observados no sistema IPF, podem ser consequência da compactação do solo, provocada pela pisoteio dos animais, como também pela liberação de dejetos pelos animais.

4. Conclusões

As emissões de N₂O nos dois sistemas avaliados estão associadas principalmente a eventos pluviométricos.

O sistema IPF é menos eficiente em relação ao cultivo de eucalipto na mitigação de gases do efeito estufa, como o N₂O.

Em estudos futuros é importante aumentar o período de avaliação, de tal forma que possa compreender também a estação seca para melhor entendimento das variações da emissão de óxido nitroso em diferentes condições de umidade do solo, temperatura do solo e do ar.

Referências

- Alves, B. J. R., Smith, K. A., Flores, R. A., Cardoso, A. S., Oliveira, W. R. D., Jantalia, C. P.; Urquiaga, S. & Boddey, R. M. (2012). Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N₂O flux from soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 46, 129-135.
- Barton, L., Kiese, R., Gatter, D., Butterback-Bahl, K., Buck, R., Hinz, C. & Murphy, D. V. (2008). Nitrous oxide emissions from a cropped soil in a semi-arid climate. *Global Change Biology*, 4, 177-192.
- Braga, D.M., Costa, M.K.L., Pontes, T.L., Alves, B.J.R. & Shigaki, F. (2011). Volatilização de amônia e emissão de óxido nitroso em função da adubação com uréia e vinhoto em cana-de-açúcar. Uberlândia/MG, 2011. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO – CBCS*, 33, Uberlândia/MG, Anais... Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia/UFU, 1, 1-3.
- Cerri, C. E. P., Sparovek, G., Bernoux, M., Easterling, W.E., Melillo, J. M. & Cerri, C. C. (2007). Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. *Scient Agricult*, 64, 83-99.
- Corrêa, R. S., Madari, B. E., Carvalho, G. D., Costa, A. R., Pereira, A. C. C. & Medeiros, J. C. (2016). Fluxos de óxido nitroso e suas relações com atributos físicos e químicos do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(9), 1148-1155.
- Dalal, R.C., Wang, W., Robertson, G.P. & Parton, W. J. (2003). Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. *Australian Journal of Soil Research*, 41, 165-195.
- Davidson, E. A., Keller, M., Erickson, H. E., Verchot, L. V. & Veldkamp, E. (2000). Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. *Bio Science*, 50, 667-680.
- Climate-Data, Disponível em <<http://pt.climate-data.org/>>. Acesso em: 30 nov. 2014.
- Giacomini, S. J. et al. (2006). Emissão de óxido nitroso com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(11), 1653-1661.
- Harrison, R. & Webb, J. (2001). A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. *Advances in Agronomy*, 73, 65-108.
- Hu, H., Trivedi, P., He, J. & Singh, B. K. (2017). Microbial nitrous oxide emissions in dryland ecosystems: mechanisms, microbiome and mitigation. *Environmental Microbiology*, 19(12), 4808-4828.
- Ibiapina, T. V. B., Salviano, A. A. C., Nunes, L. A. P. L., Mousinho, F. E. P., Lima, M. G. & Soares, L. M. S. (2014). Resistência à penetração e agregação de um Latossolo amarelo sob monocultivo de soja e de eucalipto no cerrado do Piauí. *Científica*, 42(4), 411-418.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). IPCC. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC, UK. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 11, 5-6.
- Masters, G. M. & Ela, W (2008). Introduction to environmental engineering and science. (3a ed.), *Upper Saddle River*, N. J.: Prentice hall, 708.
- MCTI. (2016). Emissões de GEE Brasil – 3ª Edição - Estimativas anuais. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, Brasília – Brazil. 1 p.
- Moreira, F. M. S. & Siqueira, J. O. (2006). *Microbiologia e bioquímica do solo*. (2a ed.), Universidade Federal de Lavras, 729.
- Nogueira, A. K. S., Rodrigues, R. A. R.; SILVA, J. J. N., Botin, A. A., Silveira, J. G., Mombach, M. A., Armacolo, N. M. & Romeiro, S. O. (2016). Fluxos de óxido nitroso em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(9), 1156-1162.
- Oliveira, M. E. D. (2014). Estimativas de Emissões de N₂O e CH₄ na cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Piracicaba- SP.
- Oliveira, W. R. D., Carvalho, A. M., Souza, K. W., Oliveira, A. D., Braga, L. M., Pinheiro, L. A., Passos, L., Pulrolnik, K. & Ramos, M. L. G. (2012). Emissão de N₂O em solo cultivado com soja em sistemas de integração Lavoura-Pecuária- Floresta (iLPF) e integração lavoura-pecuária (iLP). In: *FERTBIO*, 2012, Maceió. Anais... Maceió: SBCS/UFAL.

- Parkin, T. B. & Venterea, R. T. (2010). Sampling Protocols; *Follett. Washington*, cap. 3.
- Prusty, S., Sontakke, U. B. & Kundu, S. S. (2014). Methane and nitrous oxide emission from livestock manure. *African Journal Biotechnology*, 13, 4200-4027.
- Robertson, G. P. & Groffman, P. M. (2007). Nitrogen transformations. PAUL, E. A. (Ed.). Soil microbiology, biochemistry and ecology. 3ed. *Oxford: Elsevier*, 341-364.
- Signor, D. & Cerri, C.E.P. (2013). Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43(3), 322-338.
- Siqueira Neto, M., Piccolo, M. C., Junior, C. C., Cerri, C. C. & Bernoux, M. (2011). Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 3, 63-76.
- Sordi, A., Dieckow, J., Bayer, C.; Albuquerque, M. A., Piva, J. T., Zanatta, J. A., Tomazi, M., Rosa, C. M. & Moraes, A. (2014). Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 190, 94-103.
- Thomson, A. J. et al. (2012). Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions. *Philosophical Transactions of The Royal Society Biological Sciences*, 367(1593), 1157- 1168.
- Tomazi, M., Salton, J. C., Favarin, R. P., Retore, M., Santos, D. C. & Bayer, C. (2013). Emissão de N₂O proveniente de excretas de bovinos em sistema de integração lavoura-pecuária e pastagem permanente na região tropical do Cerrado brasileiro. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 34, Florianópolis. Ciência do solo: para quê e para quem: Anais... Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Tomlinson, P., Deann, P. & Rice, C. (2013). Greenhouses gasses in agriculture. *Kansas States University*. [http:// www.ksre.ksu.edu](http://www.ksre.ksu.edu).
- Wassmann, R. & Vlek, P.L.G. (2004). Mitigating greenhouse gas emissions from tropical agriculture: scope and research priorities. *Environment, Development and Sustainability*, 6, 1-9.