

## ANÁLISE MULTIVARIADA DOS FLUXOS DE N<sub>2</sub>O E VARIÁVEIS DE SOLO-CLIMA

**GISLAINE S. PEREIRA<sup>1</sup>, CAROLINE R. HONORATO<sup>2</sup>, GRACIELE ANGNES<sup>3</sup>,  
RAYANE VENDRAME<sup>4</sup>, JULIO C. FRANCHINI<sup>5</sup>, JOÃO TAVARES FILHO<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Eng. Agrícola, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq-USP, Piracicaba, SP, gislainepereira@usp.br

<sup>2</sup>Eng. Agrônoma, Universidade do Oeste de São Paulo, UNOESTE, Presidente Prudente, SP

<sup>3</sup>Eng. Ambiental, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq-USP, Piracicaba, SP

<sup>4</sup>Eng. Agrícola, Universidade Estadual de Maringá, UEM, Maringá, PR

<sup>5</sup>Eng. Agrônomo, Pesquisador Dr. Embrapa Soja, Londrina, PR

<sup>6</sup>Eng. Agrícola, Prof. Dr. Universidade Estadual de Londrina, UEL, Londrina, PR

Apresentado no  
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020  
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

**RESUMO:** Cerca de 50% dos fluxos de N<sub>2</sub>O são provenientes dos solos agrícolas, nesse sentido, é importante avaliar diferentes sistemas de produção e identificar as variáveis solo-clima que podem intensificar essas emissões. Este estudo teve como objetivo realizar uma análise de componentes principais para explorar as emissões de N<sub>2</sub>O e variáveis solo-clima em sistema de soja, soja + eucalipto, pasto, pasto + eucalipto e eucalipto, em uma região no sul do Brasil. Durante um período de 184 dias, foram realizadas 53 campanhas de coleta para obter os fluxos de N<sub>2</sub>O, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, precipitação pluviométrica e poros do solo preenchidos por água. Os fluxos de N<sub>2</sub>O variaram de 0 a 40 μg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Na maioria dos sistemas o CP2 se correlacionou positivamente com os fluxos de N<sub>2</sub>O. O CP2 apresentou correlação com o aumento dos fluxos de N<sub>2</sub>O (Soja: 0,53; Soja + Eucalipto: 0,57) e redução do conteúdo de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Soja:-0,83; Soja + Eucalipto:-0,77). No sistema com pasto, a correlação com os fluxos de N<sub>2</sub>O para o CP2 continuou alta (0,51), além de aumento com o conteúdo de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0,61). O NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foi a variável que apresentou maior similaridade com os fluxos de N<sub>2</sub>O. O sistema de produção e o tipo de cultura influenciam as variáveis solo-clima o que aumenta os fluxos de N<sub>2</sub>O.

**PALAVRAS-CHAVE:** Óxido nitroso, análise de componentes principais, GEE.

### MULTIVARIATE ANALYSIS OF N<sub>2</sub>O FLUXES AND SOIL-CLIMATE VARIABLES

**ABSTRACT:** Approximately 50% of N<sub>2</sub>O fluxes are from agricultural soils, so it is important to evaluate different production systems and identify the soil-climate variables that can intensify these emissions. This study aimed through principal component analysis to explore N<sub>2</sub>O emissions and soil-climate variables in soybean, soybean + eucalyptus, pasture, pasture + eucalyptus and eucalyptus systems in a region in southern Brazil. For 184 days, 53 measurement campaigns were carried out to obtain the fluxes of N<sub>2</sub>O, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> contents, rainfall, and the soil porous space filled with water. The N<sub>2</sub>O fluxes ranged from 0 to 40 μg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. In the systems CP2 was positively correlated with N<sub>2</sub>O fluxes. CP2 was characterized by high N<sub>2</sub>O fluxes (Soybean: 0.53; Soybean + Eucalyptus: 0.57) and low NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Soybean: -0.83; Soybean + Eucalyptus: -0.77). In Pasture, CP2 showed high N<sub>2</sub>O fluxes (0.51) with increase of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> content (0.61). The agricultural system and type of crop influences the soil-climate variable by increasing N<sub>2</sub>O fluxes.

**KEYWORDS:** Nitrous oxide, principal component analysis, GHG.

**INTRODUÇÃO:** O aquecimento global ocorre através de gases de efeito estufa que formam uma camada na atmosfera, absorvendo a energia da radiação infravermelha do sol, resultando no aumento gradual da temperatura da superfície terrestre, com o passar dos anos (HOSSAIN et al., 2020). Dentre os principais gases que intensificam o efeito estufa estão o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (NH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). O setor agrícola é considerado o terceiro setor com as maiores emissões globais de gases de efeito estufa no mundo (IPCC, 2014). O óxido nitroso contribui com a destruição da camada de ozônio, apresentando um potencial de aquecimento global 298 vezes superior ao do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (IPCC, 2013), com mais de 50% das emissões totais anuais provenientes do solo (ALVAREZ et al., 2020).

As mudanças na umidade, porosidade do solo e o manejo agrícola como o preparo, colheita e aplicação de fertilizantes, sob a influência do clima, aumentam as emissões de N<sub>2</sub>O (USSIRI e LAL, 2013). Muitos estudos são realizados com técnicas univariadas buscando investigar esta relação. A análise univariada avalia a ligação entre uma variável explicativa e sua variável resposta, sem considerar as demais variáveis (PAES et al., 2010). Outras técnicas, como a análise multivariada exploram as tendências do conjunto de variáveis, sendo cada vez usuais na investigação da relação dos fluxos de N<sub>2</sub>O e variáveis solo-clima (FIGUEIREDO et al., 2018). A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica multivariada de agrupamento de indivíduos, baseado em seu comportamento em uma população; reduzindo a dimensão do conjunto de dados; e auxilia na visualização de padrões (LETNER et al., 2017).

Sendo assim, o estudo objetivou explorar com o uso de ACP os fluxos de N<sub>2</sub>O e as variáveis solo-clima em cinco sistemas agrícolas, buscando caracterizar os fatores que intensificam esta relação.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A presente pesquisa foi realizada em área de produção agrícola no sul do Brasil (23°28'S; 50°59'O; 479 m), sendo o clima Cfa (ALVAREZ et al., 2014) e o solo classificado como Latossolo Vermelho argiloso (SANTOS et al., 2014). A campanha de medições ocorreu semanalmente, em período de 184 dias (06/09/2017 e 08/03/2018), com 53 dias de coleta.

As amostras de gás foram obtidas com 30 câmaras estáticas manuais (MOSIER et al., 1998) de base retangular metálica (0,4×0,6×0,1m), fixadas em cinco sistemas agrícolas (soja, soja + eucalipto, pasto, pasto + eucalipto e eucalipto), com 6 repetições por sistema. Os fluxos de N<sub>2</sub>O foram determinados por cromatografia gasosa (*Thermo Scientific, Massachusetts, EUA*). Foram coletadas amostras de solo sem estrutura preservada, com três repetições compostas de seis subamostras. Determinou-se a umidade gravimétrica em 0,0-0,1 m no perfil, conforme Embrapa (1997). Foram obtidos os conteúdos de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pelos métodos de delta absorvância e verde de salicilato modificado (SEARLE, 1984; APHA, AWWA, WEF, 2006). Foi monitorada a ocorrência de chuvas com uso de três pluviômetros. Os poros preenchidos por água (EPPA) foram calculados pela relação entre a umidade gravimétrica e a densidade do solo (CARVALHO et al., 2017).

**Análise de Componentes Principais-** A análise exploratória foi realizada a fim de verificar a importância das variáveis de solo-clima para os fluxos de N<sub>2</sub>O. Todas as variáveis foram normalizadas, e apenas os componentes principais (CPs) com autovalores acima de 1 e variâncias explicadas acima de 50% (CP1 × CP2) foram considerados. A relação entre as variáveis foi determinada por meio de correlação maior que 0,50 com os CPs, sendo todos os processos executados no pacote “stats” na plataforma do Rstudio (R CORE TEAM, 2013).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A variação diária da umidade gravimétrica do solo ( μ %)

para os cinco sistemas avaliados, a precipitação pluviométrica do período de coletas e temperatura média do ar podem ser visualizadas na Figura 1. O sistema com pasto se manteve com maiores valores de  $\mu$  (%) durante todo o período de avaliação. O sistema composto por soja obteve comportamento contrário ao de pasto, com os menores teores de umidade do período, possivelmente pelo revolvimento do solo ocasionado pela atividade de preparo por escarificação, no dia 29/09/2017.

Nos períodos secos o teor de água se manteve abaixo dos 30% para todos os sistemas. Já com a incidência de eventos de precipitação houve o aumento da umidade do solo para valores acima de 30%. Um pequeno aumento no percentual de água no solo foi observado a partir do mês de janeiro, como consequência da redução de temperatura do ar e da maior frequência em ocorrência de chuvas.

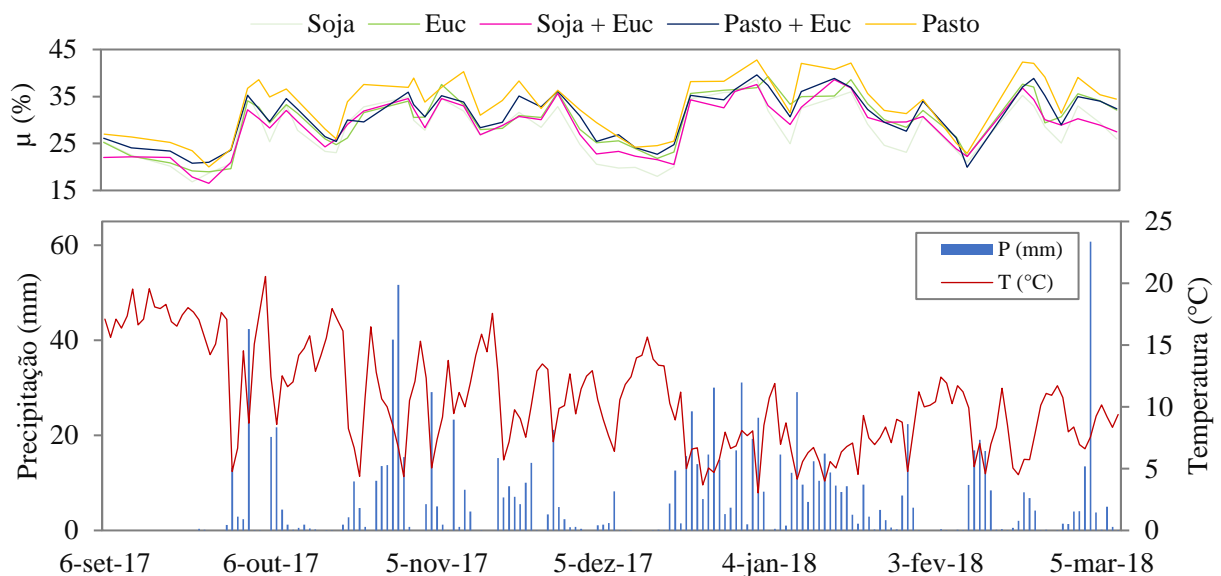


FIGURA 1. Variação diária da umidade do solo -  $\mu$  (%), precipitação (mm) e temperatura do ar (°C). **Daily variation of soil moisture -  $\mu$  (%), rainfall (mm) and air temperature (°C).**

O gráfico de calor dos fluxos de  $N_2O$  é apresentado em Figura 2. Os fluxos de  $N_2O$  variaram entre 0 a  $40 \mu g N m^{-2} h^{-1}$ , havendo um aumento nas emissões entre o 6° e 11° dia para os sistemas com pasto. Houve a intensificação dos fluxos em todos os sistemas após a 14° coleta, se mantendo até a 25°, com intensificação da emissão em soja e pasto. Esse aumento pode ter ocorrido devido as altas temperaturas e a disponibilidade de água no solo (Figura 1), que auxilia nos processos de ciclagem de N. Segundo Breuer et al. (2000), os aumentos das emissões de  $N_2O$  podem ocorrer de 6 a 8 dias após eventos de precipitação.

Próximo a colheita da soja, após 43° dia, houve aumento dos fluxos de  $N_2O$ , possivelmente pela fase de senescência da cultura, que antecede a colheita. A disponibilidade N mineral no solo e água aumentam as emissões de  $N_2O$  (dos SANTOS et al., 2016). Durante este o estágio de maturação da soja, a frequência de ocorrência de episódios de precipitação pluviométrica da região foi alta, o que pode ter influenciado na incidência de pontos quentes de emissão na Figura 2. A decomposição dos nódulos da raiz de soja é considerada uma das principais fontes de  $N_2O$  na rizosfera da cultura, resultado da decomposição dos microrganismos produzindo o óxido nitroso (SANCHEZ e MINAMISAWA, 2019).

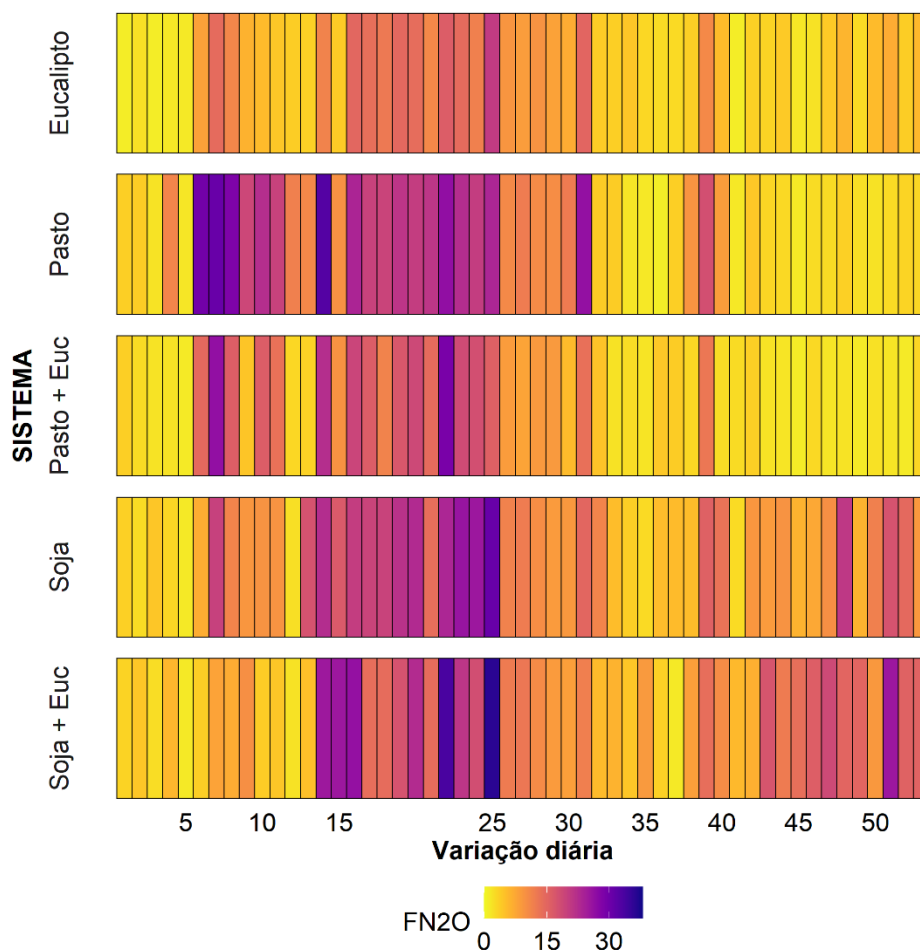


FIGURA 2. Fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  para os sistemas com soja, soja + eucalipto, pasto, pasto + eucalipto e eucalipto.  **$\text{N}_2\text{O}$  fluxes for soybean, soybean + eucalyptus, pasture, pasture + eucalyptus and eucalyptus.**

Mais de 50% da variância foi explicada pelos CP1 e CP2 (Figura 3). A Figura 3 mostra a contribuição (conV) de cada variável para os dois componentes principais. Durante a análise foi possível observar a relação entre o EPPA e a precipitação pluviométrica com o CP1 para todos os sistemas. Diferentes tendências foram notadas entre os CPs e as variáveis, no entanto, serão discutidas apenas as correlações acima de 0,5 entre as variáveis, fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  e os componentes principais.

Para o sistema com soja (Figura 3A), o CP2 obteve correlação com o aumento dos fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  (0,53) e a redução do conteúdo de  $\text{NO}_3^-$  (-0,83). Esse comportamento se manteve também para o sistema com componente arbóreo + soja (Figura 3B), com valores de 0,57 para  $\text{N}_2\text{O}$  e -0,77 para  $\text{NO}_3^-$ . A forte relação entre as variáveis pode ser em decorrência do processo de desnitrificação em que ocorre a transformação do  $\text{NO}_3^-$  para  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}$ , e por fim o  $\text{N}_2\text{O}$  (SIGNOR e CERRI, 2013).

O sistema com pasto (Figura 3D) apresentou correlação positiva entre o CP2, os fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  (0,51) e o conteúdo de  $\text{NO}_3^-$  (0,61). Do Carmo et al. (2006), em áreas de pastagem também obtiveram uma relação positiva entre o conteúdo de nitrato através do processo de nitrificação potencial e os fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$ . Outra possibilidade em decorrência ao aumento de  $\text{NO}_3^-$  ser expressivo no sistema pasto com o aumento dos fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$ , é a liberação de exsudatos radiculares pelas pastagens tropicais, que favorece na redução do processo de nitrificação, em decorrência da inibição dos organismos responsáveis pelo processo (SUBBARAO et al., 2007). Já os sistemas com eucalipto + pasto (Figura 3C) e eucalipto (Figura

3E) não obtiveram correlação acima de 0,5 entre os fluxos de N<sub>2</sub>O com nenhum dos componentes principais, no entanto apresentaram diferentes tendências na análise multivariada, podendo ser visualizado em Figura 3.

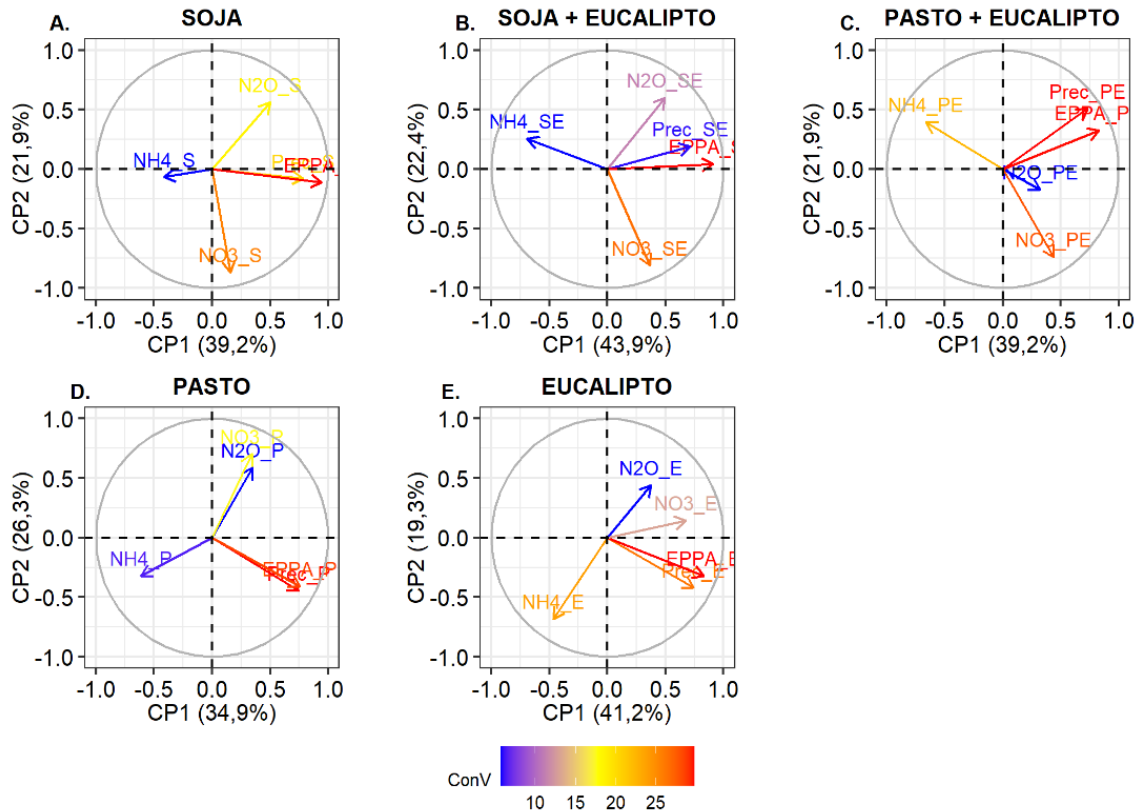


FIGURA 3. Biplot da Análise de Componentes Principais (CP1×CP2) para os sistemas com soja (A), soja + eucalipto (B), pasto + eucalipto (C), pasto (D) e eucalipto (E). **Biplot for Principal Components Analysis (CP1×CP2) from soybean (A), soybean + eucalyptus (B), pasture + eucalyptus (C), pasture (D) and eucalyptus systems (E).**

**CONCLUSÕES:** O conteúdo de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foi a variável que apresentou maior similaridade com os fluxos de N<sub>2</sub>O nos sistemas agrícolas. O tipo de cultura em cada um dos sistemas produtivos pode ter influenciado nas variáveis de solo e clima, ocasionando o aumento das emissões de óxido nitroso.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ, C.R. et al. Soil nitrous oxide emissions from Eucalyptus plantation in Argentina. **For Eco Manag**, v. 473, p. 118301, out. 2020.

BREUER, L.; PAPEN, H.; BUTTERBACH-BAHL, K.. N<sub>2</sub>O emission from tropical forest soils of Australia. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, vol. 105, n° D21, p. 26353–26367, 1 nov. 2000. DOI 10.1029/2000jd900424

CARVALHO, A.M., et al.. Soil N<sub>2</sub>O fluxes integrated production systems, continuous pasture and cerrado. **Nutri Cyc Agroec**, v.108 p.69-83, maio-2017.

CARMO, J.B do; ANDRADE, C.A. de; CERRI, C.C., PICCOLO, M.C. Disponibilidade de nitrogênio e fluxos de N<sub>2</sub>O a partir de solo sob pastagem após aplicação de herbicida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 29, nº 5, p. 735–746, out. 2005. DOI 10.1590/s0100-06832005000500009.

DOS SANTOS, I.L.; DE OLIVEIRA, A.D.; DE FIGUEIREDO, C.C.; MALAQUIAS, J.C.; SANTOS JÚNIOR, J.D.; FERREIRA, E.A.B.; DE SÁ, M.A.C.; DE CARVALHO, M.. Soil N<sub>2</sub>O emissions from long-term agroecosystems: Interactive effects of rainfall seasonality and crop rotation in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, vol. 233, p. 111–120, out. 2016. DOI 10.1016/j.agee.2016.08.027

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 212p. Rio de Janeiro, 1997.

FIGUEIREDO, C. C., et al.. Relationships between soil organic matter pools and nitrous oxide emissions of agroecosystems in the Brazilian Cerrado. **Sci of Total Envir**, [s. l.], v. 618, p. 1572–1582, 2018.

HOSSAIN, M. A.; AYODELE, B. V.; ONG, H. R.; MUSTAPA, S.I.; CHENG, C. K.; KHAN, M.R. Thermo-catalytic conversion of greenhouse gases (CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>) to CO-rich hydrogen by CeO<sub>2</sub> modified calcium iron oxide supported nickel catalyst. **International Journal of Energy Research**, vol. 44, nº 8, p. 6325–6337, 3 abr. 2020. DOI 10.1002/er.5346.

MOSIER, A. Soil processes and global change. **Biol Fertil Soils** 27, 221–229 (1998).

IPCC. Climate Change 2013. **The Physical Science Basis**. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.

LEVER, J., et al.. Principal Component Analysis, *Nat Methods* 14, 641-642 (2017).

PAES, A. Por dentro da estatística. **Einstein: Educ Contin Saúde**. 2010;8(1 Pt 2): 1-2

R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, <http://www.R-project.org/>.

SANTOS, H.G., et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

SÁNCHEZ, C.; MINAMISAWA, K.. Nitrogen Cycling in Soybean Rhizosphere: Sources and Sinks of Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O). **Frontiers in Microbiology**, vol. 10, 21 ago. 2019. DOI 10.3389/fmicb.2019.01943

SIGNOR, D; CERRI, C.E.P. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, vol. 43, nº 3, p. 322–338, set. 2013. DOI 10.1590/s1983-40632013000300014.

SUBBARAO, G. V.; WANG, H. Y.; ITO, O.; NAKAHARA, K.; BERRY, W. L. NH<sub>4</sub><sup>+</sup> triggers the synthesis and release of biological nitrification inhibition compounds in *Brachiaria humidicola* roots. **Plant and Soil**, vol. 290, nº 1–2, p. 245–257, 2 dez. 2006. DOI

10.1007/s11104-006-9156-6. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-006-9156-6>.

USSIRI, D.A.N. e LAL, R. **Soil Emissions of Nitrous Oxide and its Mitigation** Springer Dordrecht Heidelberg, New York, 2013