

*Joyce Maria Guimarães Monteiro  
Bruno José Rodrigues Alves  
Fernando Zuchello  
Selenobaldo Alexinaldo Cabral de Sant'anna*

## **Introdução**

O aumento das emissões de gases de efeito-estufa (GEEs) é apontado como a principal causa do aquecimento global nos últimos 100 anos (IPCC, 2007). No Brasil, os setores 'mudança de uso da terra' (desmatamento e queimadas) e 'agropecuária' foram responsáveis por mais de 70% das emissões líquidas desses gases em 2005 (BRASIL, 2010). Os principais GEEs relacionados ao setor 'agricultura, silvicultura e outros usos da terra' (conhecido pela sigla AFOLU, de *Agriculture, Forestry and Other Land Use*) são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e o metano (CH<sub>4</sub>).

Os sistemas de produção que preconizam o restabelecimento de cobertura vegetal permanente contribuem para a melhoria da qualidade ambiental e para a preservação dos recursos naturais, promovendo controle da erosão hídrica, aumento do conteúdo de matéria orgânica do solo e reciclagem de nutrientes, conseqüentemente alterando os fluxos de GEEs dos solos. Dependendo do manejo, os sistemas de produção agropecuários diferem pelo aumento ou diminuição das taxas de acúmulo de carbono e de emissão de GEEs no solo (COSTA, 2002). Sistemas que incluem técnicas de plantio direto, cultivo mínimo ou rotações de culturas ou que promovam a cobertura do solo com alta produção de resíduos têm potencial para aumentar os estoques de carbono do solo. Tais sistemas, por alterarem o padrão de emissão de GEEs dos solos, contribuem para a mitigação das mudanças

climáticas (COLE et al., 1997; CERRI et al., 2009).

Entre os GEEs,  $N_2O$  apresenta grande potencial de aquecimento global, 300 vezes superior ao de  $CO_2$ , embora seja um dos gases menos estudados em regiões tropicais. A produção de  $N_2O$  nos solos está relacionada com processos de nitrificação e desnitrificação, que podem ou não ocorrer simultaneamente. Na fase de nitrificação, sais de amônio ( $NH_4$ ) são transformados em nitrito ( $NO_2$ ), com posterior oxidação em nitrato ( $NO_3$ ), o que exige a presença de oxigênio molecular, com decorrente liberação de óxido nítrico (NO) e  $N_2O$  na atmosfera. No processo de desnitrificação, os compostos nitrogenados, como nitratos e nitritos, são, em condições anaeróbicas, reduzidos a  $N_2O$ , NO e  $N_2$  (todos eles gases voláteis), completando o ciclo do nitrogênio (EICHNER, 1990). Em geral, os picos de emissão de  $N_2O$  são atribuídos ao processo de desnitrificação (LIU et al., 2008). Os padrões de emissão de  $N_2O$  são influenciados tanto pelas condições químicas quanto físicas e biológicas dos solos (PAUL; CLARK, 1996). Assim, a quantidade de nitrogênio que circula no sistema solo-planta, a disponibilidade de carbono facilmente metabolizável (lábil), o grau de acidez, a temperatura, a difusão de  $O_2$ , o conteúdo de água, os níveis de umidade e temperatura e a atividade microbológica dos solos são fatores que interagem, alterando o padrão de emissão de  $N_2O$  para a atmosfera (ALVES et al., 2010; DAVIDSON et al., 2001; JANTALIA et al., 2006).

Para que se avaliem as mudanças causadas pela revegetação da área do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Comperj) e seus efeitos sobre a emissão de GEEs, será necessário identificar o padrão atual de emissões desses gases nessa área, a fim de se elaborar uma linha de base correspondente a esse padrão.

Considerando esses aspectos, este estudo teve por objetivo apresentar e discutir dados referentes ao tempo zero do monitoramento dos fluxos de  $N_2O$  dos solos sob pastagem e sob remanescentes florestais na área do Comperj.

## **Métodos**

Monitoraram-se os fluxos de  $N_2O$  em duas áreas de pastagem (PI1, Proterozoico, em terço inferior e terço médio) em que se plantarão

mudas de espécies nativas da floresta, e em uma área de floresta secundária em estágio inicial de regeneração (PF1, Proterozoico, em terço inferior). A localização dos pontos amostrais consta na Figura 2.2, Capítulo 2.

As coletas em campo ocorreram no final da estação chuvosa, tendo continuidade durante a estação seca e terminando no início da estação chuvosa seguinte, totalizando quatro campanhas realizadas de março a setembro de 2010. As coletas ocorreram durante três dias consecutivos em cada campanha. As pastagens eram predominantemente formadas por espécies do gênero *Brachiaria*. A Figura 12.1 apresenta vistas das áreas de coleta.



Figura 12.1. Aspecto geral das áreas de pastagem (A a C) e de floresta (D a F) do Comperj nas quais se coletaram amostras para quantificação de N<sub>2</sub>O. Comperj, Itaboraí, RJ, 2010. Fotos: Fernando Lima.

Para coletar amostras para determinação de  $N_2O$ , foram utilizadas câmaras estáticas fechadas compostas de uma base retangular (20 cm x 30 cm), com altura de 20 cm, inseridas no solo à profundidade de 5 cm, e uma tampa com as mesmas dimensões da base (Figura 12.2). A base foi mantida na área durante os três dias de cada campanha de amostragem. A tampa era acoplada à base para fechar a câmara nos eventos de amostragem. A atmosfera da câmara foi amostrada através de uma válvula de três vias montada na tampa (Figura 12.2). Procedeu-se a uma amostragem inicial imediatamente após a colocação da tampa e a uma segunda amostragem após 30 min, quando a tampa foi retirada. As amostras de gás do interior das câmaras foram coletadas com seringa e transferidas para frascos de 20 mL evacuados (80 kPa) no momento da transferência do gás com utilização de uma bomba de vácuo manual. Um volume de 25 mL de gás da câmara foi transferido para um frasco a fim de ser armazenado sob pressão positiva.



Figura 12.2. Material utilizado para coleta de amostras de  $N_2O$ . Comperj, Itaboraí, 2010.

A: Aspecto da câmara retangular inserida no solo; B: câmara fechada com tampa para amostragem de  $N_2O$ , com válvula de três vias.

Fotos: Fernando Lima

Para proteção contra altas temperaturas, os frascos contendo amostras de gás foram acondicionados em caixas térmicas. As análises foram realizadas em até dois dias após cada campanha, utilizando-se um cromatógrafo de gás Perkin Elmer Autosystem (Perkin Elmer, EUA) localizado na Embrapa Agrobiologia (Seropédica, RJ), equipado com

coluna preenchida com Porapak Q e munido de detector de captura de elétrons.

O fluxo de  $N_2O$  foi calculado com a equação:

$$f_{N_2O} = (dC/dt) (V/A) M/V_m$$

onde:

$f_{N_2O}$  é o fluxo de  $N_2O$  ( $mg\ N-N_2O\ m^{-2}\ h^{-1}$ );

$dC/dt$  é a mudança de concentração de  $N_2O$  na câmara no intervalo de incubação por unidade de tempo ( $mL\ N_2O\ L^{-1}\ h^{-1}$ );

$V$  é o volume da câmara (L);

$A$  é a área de solo coberta pela câmara ( $m^2$ );

$M$  é o peso molecular de  $N_2O$  ( $44\ mg\ mmol^{-1}$ ); e

$V_m$  é o volume molecular à temperatura (em kelvins) de amostragem, ou seja,  $V_m = 22,4\ mL\ mol^{-1}\ 273/(273 + t)$ , sendo  $t$  a temperatura em graus Celsius.

Amostras de solo da camada de 0 a 5 cm foram retiradas no primeiro e no terceiro dia de cada campanha de amostragem. A umidade do solo, expressa pelo percentual do espaço poroso preenchido com água (razão percentual entre umidade volumétrica e porosidade do solo), e a concentração de nitrato foram determinadas utilizando-se o método de colorimetria por fluxo contínuo (GINÉ et al., 1980).

## Resultados e discussão

Os fluxos de  $N_2O$  do solo variaram entre as coberturas vegetais analisadas e ao longo do período de avaliação (Figura 12.3). Os maiores fluxos desse composto foram observados no final de março no terço inferior da encosta sob floresta. Em junho e julho obtiveram-se os níveis mais baixos, independentemente da cobertura vegetal.

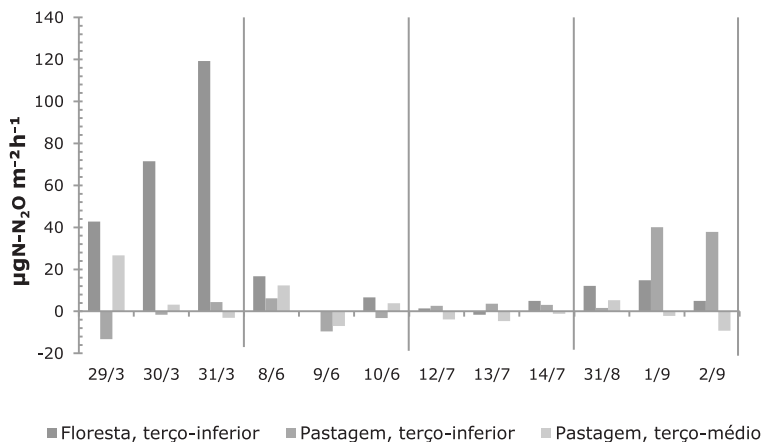


Figura 12.3. Fluxos médios de  $N_2O$  em diferentes épocas do ano nos terços inferior e médio de encosta sob pastagem e no terço inferior de encosta sob floresta.

Em média, os fluxos de  $N_2O$  nos meses de estação chuvosa pesquisados (março e setembro) foram mais altos, alcançando em média, respectivamente, 44,2, 13,2 e 3,5  $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$  no terço inferior de encosta sob floresta e nos terços inferior e médio de encosta sob pastagem. Nos meses de estação seca avaliados (junho e julho), os fluxos foram mínimos, com médias, respectivamente, de 4,7, 0,6 e 0,1  $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$  no terço inferior sob floresta e nos terços inferior e médio sob pastagem. Os fluxos mais elevados de  $N_2O$  parecem estar associados às condições mais úmidas do solo em março, final da estação das chuvas, assim como em setembro, quando o solo volta a ficar mais úmido (início da estação chuvosa). Essa tendência foi também observada nos valores de umidade do solo nos diferentes períodos de amostragem (Figura 12.4), com mínimos em junho e julho e máximos em março e setembro. A umidade parece portanto ter sido uma variável importante no controle dos fluxos de  $N_2O$ , especialmente em solos sob floresta (Figura 12.3).

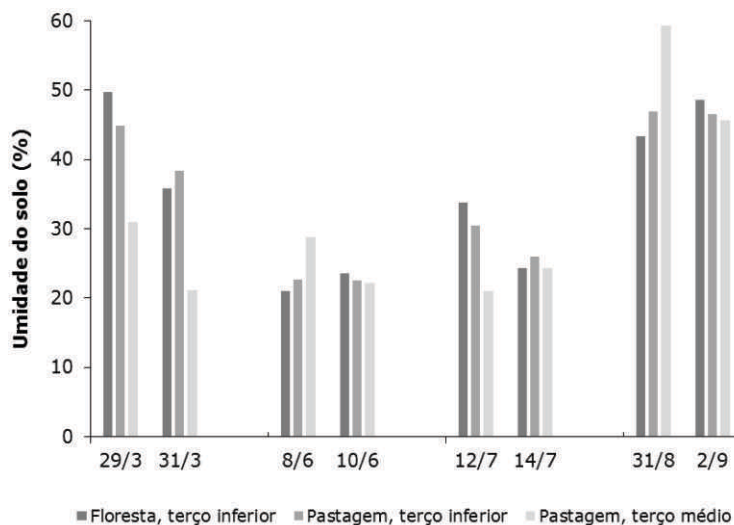


Figura 12.4. Umidade do solo em diferentes épocas do ano nos terços inferior e médio de encosta sob pastagem e no terço inferior de encosta sob remanescente florestal.

A quantidade e frequência da precipitação (ver Capítulo 4) e a temperatura do solo influenciam o padrão de emissão de  $N_2O$ , tanto diretamente, pelo aumento da umidade do solo e da porosidade preenchida por água, que afetam a extensão dos locais com baixa disponibilidade de oxigênio no solo, quanto indiretamente, pelo efeito da temperatura na atividade microbiana (ZANATTA, 2009; ERICKSON et al., 2002). O espaço dos poros preenchidos por água é apontado como indicador da proporção dos gases de nitrogênio ( $NO:N_2O:N_2$ ) que serão produzidos no solo (POTTER et al., 2001). Formas mais reduzidas do nitrogênio tendem a predominar com o incremento da saturação dos poros do solo com água (SMITH et al., 2003). Em baixos e médios valores de umidade do solo,  $N_2O$  é predominantemente produzido por nitrificação (NEIL et al., 2005). Por outro lado, quando mais de 60% do espaço poroso do solo está preenchido por água, a desnitrificação é o principal processo responsável pela produção de  $N_2O$ , devido ao decréscimo de oxigênio (SMITH et al., 2003).

Neste estudo, os fluxos de  $N_2O$  do solo sob floresta mostraram-se mais elevados que em solo sob pastagem (Figura 12.3). Em geral, a

concentração de  $\text{NO}_3$  também foi maior em solos sob floresta (Figura 12.5).

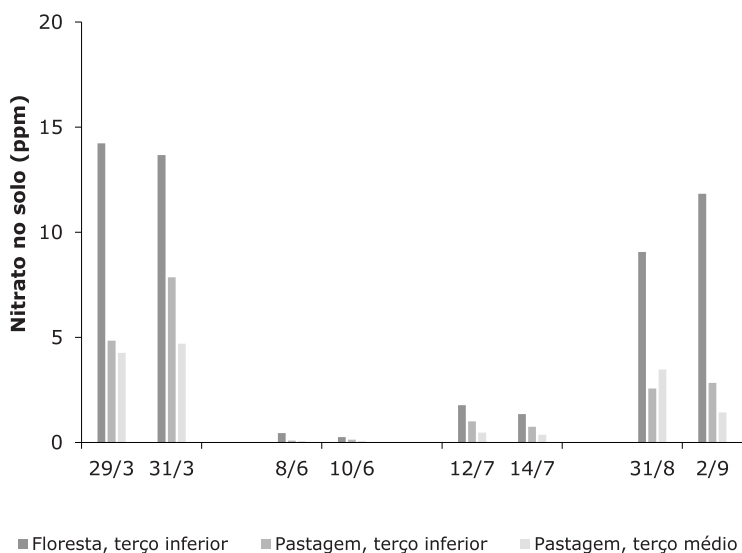


Figura 12.5. Concentração de nitrato ( $\text{NO}_3$ ) no solo em diferentes épocas do ano nos terços inferior e médio de encosta sob pastagem e no terço inferior de encosta sob remanescente florestal.

Coutinho et al. (2010) também encontraram fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  significativamente maiores em solos de floresta secundária de Mata Atlântica do que em solos sob pastagem, embora com estoques de nitrogênio e carbono equivalentes. Os teores de  $\text{NO}_3$  também foram maiores nas áreas sob floresta. Zanatta (2009) comenta que, quanto maior a presença de resíduos sobre o solo, maiores são as quantidades de carbono e nitrogênio lábil adicionadas por área, o que aumenta sensivelmente a atividade biológica, elevando o consumo de  $\text{O}_2$  disponível e criando sítios de anaerobiose, nos quais ocorre produção de  $\text{N}_2\text{O}$  por desnitrificação a partir de  $\text{NO}_3$ . Gama-Rodrigues et al. (2008), tendo encontrado maiores teores de  $\text{NO}_3$  em áreas de Mata Atlântica do que em uma área de plantio de eucalipto, comentam que os resíduos das áreas de floresta nativa apresentaram menor razão C:N, favorecendo a mineralização da matéria orgânica do solo e resultando



em maiores teores de  $\text{NO}_3$ . De fato, a adição de resíduos vegetais com baixa razão C:N, cujas taxas de mineralização de nitrogênio são mais rápidas, tem sido associada a maiores taxas de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ , em comparação com solos cultivados com gramíneas, que apresentam razão C:N mais alta (ZANATA, 2009; BAGGS et al., 2000).

Considerando-se todos os períodos de amostragem, o fluxo médio em solos sob floresta foi de  $24,4 \pm 10,6 \text{ mg N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , mas de  $3,8 \pm 2,8 \text{ mg N m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  em locais sob pastagem.

Dentre os estudos já realizados em áreas de Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro, o mais elevado fluxo médio de  $\text{N}_2\text{O}$  do solo, de  $48 \text{ mg N m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , foi encontrado na Reserva Biológica do Tinguá (MADDOCK et al., 2001), enquanto o mais baixo, de  $3,07 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  proveio do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (RODRIGUES, 2006). Os valores detectados no presente estudo situam-se na faixa dos registrados em áreas de Mata Atlântica fluminenses, mas, certamente, novas avaliações serão necessárias ao longo do período de implantação do Projeto Corredor Ecológico Comperj para que se obtenha um registro completo das possíveis alterações no fluxo desses gases.

### **Considerações finais**

Os maiores fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  na área de estudo ocorreram em períodos em que a umidade do solo esteve mais alta (meses chuvosos). A maior magnitude desses fluxos se deve ao processo de desnitrificação. Os valores também foram mais elevados em solos sob floresta do que naqueles sob pastagem. Extrapolando-se para o período de um ano os fluxos médios encontrados neste estudo, infere-se que as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  poderão ser elevadas em seis vezes nas áreas em que a floresta será recuperada, em comparação com áreas que permaneçam sob pastagem. Um maior número de amostragens de gases é porém necessário para identificação mais precisa do padrão de emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ , ainda que os resultados já obtidos permitam estimativas compatíveis com as de outros estudos.

## Referências

ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A.; FRANCHINI, J. C.; SANTOS, H. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Emissões de óxido nitroso de solos pelo uso de fertilizantes nitrogenados em áreas agrícolas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2010. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 126).

BAGGS, E. M.; REES, R. M.; SMITH, K. A.; VINTEN, A. J. A. Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 16, p. 82-87, 2000.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Segunda comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. Brasília, 2010.

COLE, C. V.; DUXBURY, J.; FRENEY, J.; HEINEMEYER, O.; MINAMI, K.; MOSIER, A.; PAUSTIAN, K.; ROSENBERG, N.; SAMPSON, N.; SAUERBECK, D.; ZHAO, Q. Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emission by agriculture. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 49, p. 221-228, 1997.

CERRI, C. C.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 6, p. 831-843, 2009.

COSTA, C. M. P. **Fatores de controle das emissões de óxido nitroso nos solos de remanescentes da Floresta Atlântica do sudeste do Brasil**. 2002. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Fluminense, Niterói.

COUTINHO, R. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; TORRES, A. Q. A. J. C. P. Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N<sub>2</sub>O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 2, p. 195-203, 2010.

DAVIDSON, E. A.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PINTO, A. D. S. Emissions of nitrous oxide and nitric oxide from soils of native and exotic ecosystems of the Amazon and Cerrado regions of Brazil. **ScientificWorld**. v. 1, p. 312-319, 2001.

EICHNER, M. J. Nitrous oxide emissions from fertilized soils: summary of available data. **Journal of Environmental Quality**, v. 19, n. 2, p. 272-280, 1990.

ERICKSON, H.; DAVIDSON, E. A.; KELLER, M. Former land use and tree species affect nitrogen oxide emissions from a tropical dry forest. **Oecologia**, v. 130, p. 297-308, 2002.

IPCC. "**Climate Change 2007**": climate change impacts, adaptation and vulnerability. Geneva, 2007. Working Group II. AR4: Summary for Policy makers. Disponível em: <<http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2007gl/index.htm>>. Acesso em: 2 abr. 2012.

GAMA RODRIGUES, E. F. da; BARROS, N. F.; VIANA, A. P.; SANTOS, G. A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1489- 1499, 2008.

GINÉ, M. F.; BERGAMIN FILHO, H.; ZAGATTO, E. A. G.; REIS, B. F. Simultaneous determination of nitrate and nitrite by flow injection analysis. **Analytica Chimica Acta**, v. 114, p. 191-197, 1980.

JANTALIA, C. P.; ZOTARELLI, L.; SANTOS, H. P. dos; TORRES, E.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Em busca da mitigação da produção de óxido nitroso em sistemas agrícolas: avaliação de práticas usadas na produção de grãos no sul do Brasil. In: ALVES, B. J. R. et al. (Ed.). **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006.

LIU, H.; ZHAO, P.; LU, P.; WANG, Y. S.; LIN, Y. B.; RAO, X. Q. Greenhouse gas fluxes from soils of different land-use types in a hilly area of south China. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 12, p. 125–135, 2008.

MADDOCK, J. E. L.; SANTOS, M. B. P.; PRATA, K. R. Nitrous oxide emission from soil of the Mata Atlântica, Rio de Janeiro State, Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 106, n. 19, p. 23055-23060, 2001.

NEILL, C.; STEUDLER, P. A.; GARCIA-MONTIEL, D. C.; MELILLO, J. M.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. C. Rates and controls of nitrous oxide and nitric oxide emissions following conversion of forest to pasture in Rondônia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 71, p. 1–15, 2005.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soils microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1996.

POTTER, C.; DAVIDSON, E.; NEPSTAD, D.; CARVALHO, C. de. Ecosystem modeling and dynamic effects of deforestation on trace gas fluxes in Amazon tropical forests. **Forest Ecology and Management**, v. 152, p. 97-117, 2001.

RODRIGUES, R. A. R. **Deposição atmosférica na bacia do alto curso do rio Paquequer - Parque Nacional da Serra dos Órgãos, Teresópolis, RJ**. 2006. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Fluminense, Niterói.

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**, v. 54, p. 779-791, 2003.

ZANATTA, J. A. **Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e sistemas de manejo**. 2009. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

