



# Coletânea de Fatores de Emissão e Remoção de Gases de Efeito Estufa da Pecuária Brasileira



MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES

MINISTÉRIO DAS  
RELAÇÕES EXTERIORES



## 2020. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Todos os direitos reservados. Permitida reprodução desde que citada a fonte.

A responsabilidade pelos direitos autorais de textos, ideologia dos artigos e imagens desta obra são dos autores intelectuais que os produziram. O Mapa incentiva pesquisas no tema, e sua divulgação para esclarecimentos de conceitos, perspectivas e estratégias, com vista a atender as diversas demandas do setor produtivo nacional.

1ª edição. Ano 2020

Tiragem: 1.000

### Equipe técnica

Coordenação: Eleneide Doff Sotta, Elvison Nunes Ramos, Fernanda Garcia Sampaio, Juan Vicente Guadalupe Juliana Bragança Campos, Gallardo, Kátia Marzall, Mirella de Souza Nogueira Costa, Sidney Almeida Filgueira de Medeiros.

### Organizadores

Dra. Eleneide Doff Sotta, Dra. Fernanda Garcia Sampaio e Mirella de Souza Nogueira Costa.

### Revisores científicos

Capítulo 1 – Dra. Diana Signor

Capítulo 2 – Dr. Alexandre Berndt e Dra. Patrícia Perondi Anchão Oliveira

Capítulo 3 – Dra. Ana Paula Packer, Dra. Leidiane Ferronato Mariani e Juliana Bragança Campos

### Colaboradores

Andréa Nascimento de Araújo, Danielly Godiva Santana Molleta, Giovanna Lunkomoss de Christo e Lidiane Rocha de Oliveira Melo

### Catálogo na Fonte

Dados internacionais de Catalogação-da-Publicação (CIP)  
Catalogação na Fonte Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI

---

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.  
Coletânea de fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da pecuária brasileira / Eleneide Doff Sotta, Fernanda Garcia Sampaio, Mirella de Souza Nogueira Costa (organizadoras) . – Brasília : MAPA/SENAR, 2020.

162 p. : il. color.

ISBN 978-65-86803-33-4

1. Agricultura Sustentável. 2. Agropecuária Tropical. 3. Mudança Climática. 4. Pecuária Brasileira. I. Secretaria Nacional de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. II. Título. AGRIS XXX

AGRIS P01  
A01

---

Kelly Lemos da Silva CRB1-1880

## ESTRATÉGIAS PARA MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO APÓS APLICAÇÃO DE DEJETOS DE ANIMAIS E UREIA EM PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL

Celso Aita<sup>1</sup>; Sandro José Giacomini<sup>1</sup>; Stefen Barbosa Pujol<sup>1</sup>; Claudir José Basso<sup>1</sup>; Ezequiel Cesar Carvalho Miola<sup>2</sup>; Rodrigo da Silveira Nicoloso<sup>3</sup>; Rogério Gonzatto<sup>4</sup>; Martin Chantigny<sup>5</sup>; Philippe Rochette<sup>5</sup>

1 Universidade Federal de Santa Maria; 2 Universidade Federal do Rio Grande; 3 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Suínos e Aves; 4 MOSAIC Fertilizantes; 5 Soils and Crops Research and Development Center, Agriculture and Agri-Food Canada.

O confinamento parcial ou total de animais vem aumentando em diversas regiões do Brasil, resultando no acúmulo de dejetos nos locais próximos aos criatórios. Embora a ciclagem dos nutrientes dos dejetos na agricultura seja uma prática comum, o seu impacto sobre as emissões gasosas de carbono (C) e de nitrogênio (N) ainda é pouco conhecido.

O objetivo geral dos projetos conduzidos pelo nosso grupo de pesquisa no sul do Brasil, mais especificamente no estado do Rio Grande do Sul, consistiu em quantificar as emissões gasosas de N nas formas de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) após o uso dos dejetos de animais em sistema de plantio direto (SPD) e propor estratégias para mitigá-las. Em função do grande volume produzido e da forma como são manejados, foi dada prioridade nos estudos ao uso dos dejetos líquidos gerados na bovinocultura de leite (DLB) e, principalmente, na suinocultura. Além do grande volume de dejetos gerados na suinocultura, os dejetos líquidos de suínos (DLS) caracterizam-se por apresentar teores elevados de N na forma amoniacal ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ), podendo atingir até 70% do teor de N total dos mesmos. Dependendo do seu manejo e das condições ambientais, a aplicação desse N reativo no solo pode ter sérios impactos negativos ao ambiente, principalmente quanto à lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  e às emissões para a atmosfera de  $\text{NH}_3$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , sendo este último um dos principais gases de efeito estufa (GEE), além de estar diretamente envolvido na destruição da camada de ozônio. Para mitigar tais emissões decorrentes da fertilização de culturas com os dejetos, nossos projetos de pesquisa já concluídos e em andamento avaliam a eficiência de quatro estratégias principais.

**Estratégia 1.** Modo de aplicação dos dejetos no solo em SPD (injeção subsuperficial x aplicação superficial). Na maior parte das propriedades agrícolas das regiões envolvidas com a bovinocultura de leite e a suinocultura no país, os dejetos são aplicados na superfície do solo sobre os resíduos culturais. Nessa condição, o N amoniacal dos dejetos fica exposto à ação do sol e do vento, o que implica em perdas significativas de  $\text{NH}_3$  por volatilização, e contribui à poluição atmosférica. Uma das estratégias mais eficientes em reduzir a volatilização de  $\text{NH}_3$  consiste na injeção dos dejetos ao solo. Em trabalho pioneiro da UFSM, conduzido no período de

2011 a 2013 em Argissolos (10,3 a 19,2% de argila), foram comparadas as perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  e as emissões gasosas de  $\text{N}_2\text{O}$  entre a aplicação superficial e a injeção subsuperficial dos dejetos líquidos de suínos em SPD (Aita *et al.*, 2014; Aita *et al.*, 2019). No entanto, considerando que os Latossolos predominam nas regiões dedicadas à suinocultura e à bovinocultura de leite da região sul do Brasil, os mesmos tratamentos foram avaliados em um Latossolo do município de Frederico Westphalen/RS, com 69% de argila e 3,8% de matéria orgânica na camada 0-10 cm.

**Estratégia 2.** Adição do inibidor de nitrificação dicianodiamida (DCD) aos dejetos. A nitrificação do N amoniacal dos dejetos de animais é um processo que ocorre rapidamente no solo. Com isso, pode ocorrer a produção de  $\text{N}_2\text{O}$  tanto através da ação de bactérias nitrificadoras, como através da desnitrificação. Por isso, o uso de produtos capazes de inibir temporariamente a nitrificação tem sido avaliado como uma estratégia para mitigar a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  após a adição dos dejetos de animais ao solo.

**Estratégia 3.** Aplicação parcelada dos dejetos. A aplicação de fertilizantes nitrogenados em sincronia com a demanda de N das culturas deve reduzir a quantidade de  $\text{NO}_3^-$  no solo e, com isso, reduzir a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  durante a desnitrificação. Essa foi a hipótese testada em um estudo conduzido em um Argissolo da UFSM, com a aplicação de dejetos líquidos de suínos na sucessão trigo/milho. Foi comparada a aplicação dos dejetos em dose única, no momento da semeadura das culturas, com a aplicação parcelada dos dejetos (50% da dose recomendada na semeadura e 50% em cobertura).

**Estratégia 4.** Uso associado dos dejetos com ureia. Avaliou-se durante dois anos em um Argissolo da UFSM, em Santa Maria, a estratégia de associar os dejetos à ureia, injetando-se 50 % da dose de N com os dejetos na semeadura das culturas e aplicando-se os outros 50 % com a ureia em cobertura. Essa estratégia foi comparada à injeção de 100 % da dose de N com os dejetos na semeadura.

Os dejetos foram aplicados sempre em gramíneas, na sucessão de milho no verão e aveia ou trigo no inverno. A avaliação das emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  é feita com o uso de

câmaras estáticas, seguindo os procedimentos descritos por Rochette & Bertrand (2008). A coleta das amostras gasosas no interior das câmaras foi realizada sempre no período da manhã, entre 9h e 11h, e a determinação das concentrações de  $N_2O$  nas amostras foi feita em cromatografia gasosa (GC-2014, modelo Greenhouse, Shimadzu Corp.) equipado com um detector de captura de elétrons. Na maioria de nossos estudos, avaliou-se também a perda de N por volatilização de  $NH_3$ , utilizando-se inicialmente as câmaras estáticas de Nõmmik (1973) e posteriormente os coletores semiabertos propostos por Araújo *et al.* (2009). Em todos os estudos as emissões de  $NH_3$  e  $N_2O$  após o uso de dejetos foram comparadas ao modo tradicional de fertilização nitrogenada das gramíneas, que consiste na aplicação de N-ureia.

## RESULTADOS

### Estratégia 1– Efeito do modo de aplicação dos dejetos no solo

- A injeção dos dejetos no solo reduziu em mais de 90% a perda de N por volatilização de  $NH_3$ , tanto no verão quanto no inverno (AITA *et al.*, 2014, 2019; BAZZO, 2019). Todavia, a manutenção de maiores quantidades de N no solo pela injeção, a concentração deste nutriente no interior dos sulcos de injeção, juntamente com o C e a fração líquida dos dejetos, propiciaram as condições necessárias à produção de  $N_2O$ , aumentando a emissão desse GEE, em relação à aplicação superficial dos dejetos em Argissolo;
- Na média de quatro aplicações de dejetos realizadas de 2011 a 2013, sendo duas no milho e duas nas culturas de inverno (aveia ou trigo), a emissão acumulada anual de  $N_2O$  aumentou de 4,73 kg N  $ha^{-1} ano^{-1}$  com a aplicação dos dejetos na superfície do solo para 9,90 kg N  $ha^{-1} ano^{-1}$  com a injeção subsuperficial (7 a 11 cm) dos dejetos no solo;
- O fator de emissão de  $N_2O$  (calculado com base na proporção do N total aplicado anualmente com os dejetos) correspondeu a 1,23% para a aplicação superficial e a 2,69% para a injeção no solo. Apesar desses valores médios anuais, os FE variaram de 0,42 a 2,60% para a aplicação superficial e de 1,90 a 4,67% para a injeção. Essa ampla variação observada nos FE resulta de diferenças nas características dos dejetos aplicados em cada cultura a cada ano e, principalmente, das condições ambientais predominantes nas primeiras semanas após a aplicação dos dejetos;
- A emissão anual média acumulada de  $N_2O$  com ureia foi de 1,92 kg N  $ha^{-1}$ , variando de 1,04 a 3,61 kg

N  $ha^{-1} ano^{-1}$ . Essas quantidades de N- $N_2O$  emitidas correspondem a uma proporção média de 0,39% do N aplicado na forma de ureia, variando de 0,22 a 0,67%. Portanto, os FE de  $N_2O$  obtidos para a aplicação de ureia em Argissolo são inferiores ao valor de 1% estabelecido pelo IPCC (2006);

- Os resultados obtidos no Argissolo indicam que, apesar de variáveis, os valores médios para os FE de  $N_2O$  obtidos com o uso dos dejetos líquidos de suínos em SPD são superiores ao valor estabelecido pelo IPCC quando os dejetos são aplicados na superfície do solo (1,23 x 1,0%) e, principalmente, quando os dejetos são injetados no solo (2,96 x 1,0%) e, principalmente, quando os dejetos são injetados no solo (2,08 x 1,0%);
- No Latossolo de Frederico Westphalen, RS, as emissões de  $N_2O$  com a aplicação de dejetos líquidos de suínos foram em média, 73,9% menores do que nos Argissolos de Santa Maria. Os valores médios para o FE de  $N_2O$  com a aplicação superficial dos dejetos, que foi de 1,23% nos Argissolos diminuiu para apenas 0,46% no Latossolo. Já para a injeção dos dejetos o FE diminuiu de 2,96% nos Argissolos para 0,68% do Latossolo;
- Para o tratamento com aplicação de ureia no Latossolo, o FE de  $N_2O$  na sucessão trigo/milho foi, na média de dois anos, de apenas 0,10%, muito abaixo do valor sugerido pelo IPCC;
- Na avaliação do efeito dos dejetos líquidos produzidos na bovinocultura de leite (DLB) sobre as emissões de  $N_2O$  em SPD, em função da baixa concentração de N nos dejetos, o seu uso foi associado à ureia, aplicando-se os dejetos como adubação de base, na semeadura do milho e do trigo, e complementando-se a necessidade em N das culturas com a aplicação de ureia em cobertura. A emissão anual de  $N_2O$  aumentou de 4,72 kg N  $ha^{-1}$  na aplicação superficial dos dejetos para 6,14 kg N  $ha^{-1}$  com a sua injeção no solo, correspondendo ao FE de N- $N_2O$  de 0,81 e 1,27%, respectivamente. Os FE de N- $N_2O$  no Latossolo foram de apenas 0,17% quando os DLB foram aplicados na superfície e 0,35% quando injetados no solo.

### Estratégia 2 – Efeito da adição de inibidor de nitrificação aos dejetos

- Com o uso da DCD, a emissão anual média de  $N_2O$  diminuiu de 4,73 kg N  $ha^{-1}$  para 3,57 kg N  $ha^{-1}$  quando os dejetos foram aplicados na superfície do solo. Com a injeção dos dejetos no solo, a DCD

foi ainda mais eficiente, reduzindo a emissão acumulada de  $N_2O$  de  $9,90 \text{ kg N ha}^{-1}$  para  $4,09 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Esse efeito positivo da DCD correspondeu a uma redução média nos FE de  $N_2O$  de 1,11 para 0,75% com a aplicação superficial e de 2,08 para 1,02% com a injeção dos dejetos no solo;

- O menor efeito da DCD com a aplicação superficial dos dejetos do que com a sua injeção se deve, principalmente, à perda de N por volatilização de  $NH_3$  ocorrida quando os dejetos foram aplicados na superfície do solo, sobrando menos N amoniacal para ser nitrificado no solo. Portanto, a injeção dos dejetos líquidos de suínos no solo, em SPD, quando associada ao uso do inibidor de nitrificação DCD, reduz significativamente a perda de N por volatilização de  $NH_3$  e resulta em valores de FE próximos aos observados com o modo tradicional de uso dos dejetos em SPD, que consiste na sua aplicação sobre os resíduos culturais.

### Estratégia 3– Efeito do uso parcelado dos dejetos nas culturas

- A quantidade anual de  $N_2O$  emitida no tratamento com aplicação dos dejetos em dose única foi 21% maior do que com a aplicação parcelada ( $7,77 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$  x  $6,43 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ ). Nesse mesmo estudo, a aplicação parcelada da ureia no milho e no trigo resultou em uma emissão anual de  $5,91 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ , o que representa um FE de 1,23%;
- Essas emissões anuais com a aplicação de DLS correspondem a FE de  $N_2O$  de 1,60% para a aplicação em dose única e 1,07% para a aplicação parcelada. Quando o inibidor de nitrificação DCD foi adicionado aos dejetos, os FE diminuíram para 0,65% na dose única e 0,63% na aplicação parcelada;
- Esses resultados, porém, não permitem concluir que a aplicação parcelada dos dejetos líquidos "de suínos contribui significativamente à redução das emissões de  $N_2O$ . As condições ambientais dos primeiros dias após a aplicação dos dejetos, principalmente a ocorrência de chuvas que aumentem o espaço poroso do solo ocupado por água (EPSA) para valores acima de 60% são mais importantes à produção e emissão de  $N_2O$  do que a forma de aplicação dos dejetos no solo, se em dose única ou parcelada.

### Estratégia 4 – Efeito do uso associado dos dejetos com ureia nas culturas

- Em dois anos avaliados de um estudo específico quanto a esta estratégia, os fatores de emissão (FE) de  $N_2O$  com a injeção no solo de todo o N via dejetos variaram de 1,10 a 1,30%. Quando foi injetado 50% da dose de N com os dejetos na

semeadura e os restantes 50% foram aplicados em cobertura, seja com dejetos ou ureia, os valores de FE diminuíram para valores que variaram de 0,43 a 1,19%, evidenciando a eficiência dessa estratégia de fertilização em mitigar as emissões de  $N_2O$  na sucessão trigo/milho em SPD. Quando a dose de 50% dos dejetos foi injetada ao solo juntamente com o inibidor DCD e com aplicação de ureia em cobertura os FE diminuíram para valores que variaram de 0,26 a 0,47%, comprovando os resultados dos nossos estudos anteriores, quando o uso de DCD sempre reduziu o FE. De forma similar ocorre com a associação dos DLS e a ureia, proporcionando valores de FE inferiores ao valor do IPCC.

### DESAFIOS

- Contrariando nossa expectativa, o uso de dejetos líquidos de suínos em Latossolo resultou em emissões de  $N_2O$  significativamente menores do que em Argissolo e com relativamente pouca diferença entre o modo de aplicação dos dejetos (injeção subsuperficial x aplicação superficial);
- Os valores de FE em Latossolo foram sempre inferiores a 0,68% e, portanto, inferiores ao valor proposto pelo IPCC (2006). Com o uso do inibidor DCD os valores de FE foram inferiores a 0,32%. Todavia, cabe destacar que esses resultados se referem a apenas uma área experimental em Latossolo. O desafio seria ampliar os trabalhos para outros Latossolos, incluindo áreas com diferentes históricos de uso. A se confirmarem os resultados obtidos, os valores de FE para a aplicação de dejetos líquidos de suínos em Latossolos seriam inferiores a 1% e a injeção subsuperficial dos dejetos poderia ser a estratégia recomendada e sem a necessidade de utilizar o inibidor de nitrificação, o qual ainda não é comercializado no Brasil;
- Mesmo que o uso do inibidor de nitrificação DCD tenha se mostrado eficiente em reduzir as emissões e, portanto, os FE de  $N_2O$  com a aplicação dos dejetos, principalmente quando injetados no solo, o seu uso não tem aumentado significativamente a produtividade do milho e do trigo (Gonzatto et al., 2017). Por isso, uma linha de pesquisa que está iniciando em nosso grupo consiste na avaliação da eficiência da DCD na mitigação das emissões de  $N_2O$  quando os dejetos líquidos de suínos são injetados no solo, na dose de N recomendada pela pesquisa e também em super e subdoses;
- Embora pouco numerosos, nossos resultados com dejetos líquidos de bovinos indicam que o seu impacto sobre as emissões de  $N_2O$  é bem menor do

que os dejetos líquidos de suínos e que os valores de FE são próximos ou menores do que o valor proposto pelo IPCC de 1%. Todavia, é necessário ampliar nossa base de dados com os dejetos gerados na bovinocultura de leite.

### SOLUÇÕES

- Os resultados obtidos até o momento, principalmente em Argissolos mostram que:
  - » Apesar da variação temporal, os valores médios para os FE de  $N_2O$  para a aplicação de dejetos líquidos de suínos na superfície do solo em SPD, são relativamente próximos ao valor de FE de 1% proposto pelo IPCC (2006);
  - » Embora a estratégia de injetar os dejetos líquidos no solo preserve maior quantidade de N mineral, ao reduzir significativamente a volatilização de  $NH_3$ , essa prática favorece a produção de  $N_2O$ , o que resulta em valores de FE cerca de duas vezes superior ao valor proposto pelo IPCC;
  - » Quando o inibidor de nitrificação DCD é injetado no solo juntamente com os dejetos os valores de FE se aproximam dos valores observados para a aplicação superficial dos dejetos e sem o inibidor. Portanto, a injeção dos dejetos líquidos de suínos em Argissolos pode ser uma prática recomendada para preservar o N dos dejetos no solo e reduzir as perdas de C e de nutrientes dos dejetos via escoamento superficial, desde que seja associada ao uso do inibidor para reduzir as emissões de  $N_2O$  provocadas pela injeção;
- O conjunto de informações obtidas em diferentes solos e locais evidencia que o uso de ureia como fonte de N em gramíneas, fracionando a dose e aplicando 1/3 do N na semeadura das culturas e

2/3 em cobertura, resulta em fatores de emissão inferiores ao valor de 1% proposto pelo IPCC.

### DADOS PUBLICADOS EM:

AITA, C.; CHANTIGNY, M. H.; GONZATTO, R.; MIOLA, E. C. C.; ROCHETTE, P.; PUJOL, S. B.; SANTOS, D. B.; GIACOMINI, D. A.; GIACOMINI, S. J. Winter-season gaseous nitrogen emissions in subtropical climate: impacts of pig slurry injection and nitrification inhibitor. *J. Environ. Qual.*, [Published online], 2019. DOI: 10.2134/jeq2018.04.0137.

AITA, C.; GONZATTO, R.; MIOLA, E. C. C.; SANTOS, D. B.; ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M. H.; PUJOL, S. B.; GIACOMINI, D. A.; GIACOMINI, S. J. Injection of dicyandiamide-treated pig slurry reduced ammonia volatilization without enhancing soil nitrous oxide emissions from no-till corn in Southern Brazil. *J. Environ. Qual.*, v. 43, p. 789-800, 2014. DOI: 10.2134/jeq2013.07.0301.

AITA, C.; SCHIRMANN, J.; PUJOL, S. B.; GIACOMINI, S. J.; ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M. H.; GONZATTO, R.; GIACOMINI, D. A.; DONEDA, A. Reducing nitrous oxide emissions from a maize-wheat sequence by decreasing soil nitrate concentration: effects of split application of pig slurry and dicyandiamide. *Eur. J. Soil Sci.*, v. 66, p. 359-368, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12181>.

GONZATTO, R.; AITA, C.; BÉLANGER, G.; CHANTIGNY, M. H.; MIOLA, E. C. C.; PUJOL, S. B.; DESSBESEL, A.; GIACOMINI, S. J. Response of no-till grain crops to pig slurry application methods and a nitrification inhibitor. *Agron. J.*, v.109 (4), p. 1687-1696, 2017. DOI:10.2134/agronj2016.09.0547

Continuação no Anexo

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ARAÚJO, E. S.; MARSOLA, T.; MYIAZAWA, M.; SOARES, L. H. B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, n. 44, p. 769-776, 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000700018.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2014/15. v. 2, n. 5. Quinto Levantamento. Brasília: CONAB, fev. 2015. p. 1-116. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan: IGES, 2006.

Continuação no Anexo



**Figura:** Equipamento desenvolvido para a injeção de dejetos líquidos de animais em subsuperfície no solo, em sistema de plantio direto

Crédito: própria autoria

### COORDENADOR DO PROJETO

**Dr. Celso Aita**

Universidade Federal de Santa Maria

e-mail: celsoaita@gmail.com