



FERTBIO 2012

A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola
17 a 21 de Setembro - Centro de Convenções - Maceió/Alagoas

Dicianodiamida (DCD) Diminui Emissão de N₂O de Solo Incubado com Diferentes Níveis de Palha de Cana-de-açúcar e N Mineral

Vitor Paulo Vargas^(1,2); Heitor Cantarella^(1,3); Acácio Agostinho Martins^(1,4); Johnny Rodrigues Soares^(1,2) Rafael de Melo Sousa^(1,5) Crizane Hackbarth^(1,6) Cristiano Alberto de Andrade⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Instituto Agronômico, IAC, Centro de Solos e Recursos Ambientais. Av. Barão de Itapura, 1481, 13020-902, CP 28, Campinas – SP; ⁽²⁾ Estudantes de doutorado, Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, IAC vitorpvargas@hotmail.com; ⁽³⁾ Pesquisador, IAC; ⁽⁴⁾ Estudante de mestrado, Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, IAC acaciocac_bn@hotmail.com; ⁽⁵⁾ Estudante de Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Registro. Rua: Nelson Brihi Badur, 430, 11900-000, Registro, SP; ⁽⁶⁾ Estudante de Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina. Centro de Ciências Agrovetenárias. Av.: Luís de Camões, 2090, 88520-000, Lages, SC; ⁽⁷⁾ Pesquisador, Embrapa Meio Ambiente, Rod.: SP 340, km 127.5, 13820-000, Jaguariúna, SP.

Resumo – A aplicação de inibidores de nitrificação tem sido difundida como ferramenta na mitigação das emissões de óxido nitroso (N₂O). Maiores benefícios poderão ser encontrados em áreas com manutenção de resíduos, como a palha da cana, os quais podem contribuir com formas solúveis de carbono. O objetivo deste estudo foi testar em condições controladas o efeito da dicianodiamida (DCD) nas emissões de N₂O a partir de um solo incubado com diferentes doses de palha de cana e N mineral. Os tratamentos resultaram da combinação de três doses de palha equivalentes a 0, 8 e 16 Mg MS ha⁻¹, dois níveis de N mineral equivalentes a 0 e 100 kg de N ha⁻¹ e dois níveis de DCD: com e sem DCD. Ao longo de 120 dias de incubação foram realizadas 42 amostragens para determinação da quantidade acumulada de N₂O. O uso de N aumentou a emissão de N₂O em relação aos controles, independente da dose de palha aplicada. Por outro lado, o uso de DCD foi capaz de reduzir as perdas desse gás em mais de 60% para todas as doses de palha, em relação aos tratamentos com N e sem DCD. Quando N foi adicionado, a maior dose de palha aumentou a emissão em relação ao tratamento sem resíduo. O efeito da palha é atribuído ao aumento da concentração de carbono orgânico dissolvido na camada superficial. A palha de cana exerce um efeito sinérgico à aplicação de N em relação às emissões de N₂O, porém o DCD é eficiente em reduzir essas perdas.

INTRODUÇÃO - O N₂O é um importante gás de efeito estufa que representa mais de 7% do efeito estufa total (WRI, 2005) e é atualmente a principal substância depletora da camada de ozônio (Ravishankara et al., 2009). Uma forma de mitigar a emissão desse gás de efeito estufa que tem um potencial de aquecimento global 298 vezes maior que o CO₂ (IPCC, 2007) consiste em tornar mais lentos os processos formadores que são a nitrificação e a desnitrificação. Como ferramenta potencial o uso de inibidores de nitrificação tem sido indicado visto que retardam a transformação microbiana

de NH₄⁺ para NO₃⁻ no solo (Cookson e Cornforth, 2002) diminuindo o escape de N₂O e outros óxidos de N na nitrificação. Emissões de N₂O ocorrem durante a nitrificação em solos aerados. Além disso, inibidores de nitrificação tais como a dicianodiamida (DCD) permitem que NO₃⁻ seja gradualmente liberado, diminuindo a quantidade de substrato para a desnitrificação em condições anaeróbicas.

Disponibilidade de N e C prontamente utilizável são primordiais aos microrganismos responsáveis pela formação desse gás de efeito estufa a partir do solo. Com a proibição da queima da palha da cana-de-açúcar, grandes quantidades de resíduos da colheita da cultura permanecem sobre a superfície do solo (8 a 20 Mg ha⁻¹; Thorburn et al., 2012) e podem estimular a emissão de N₂O por: i) fornecer N mineralizável; ii) fornecer C facilmente metabolizável; iii) preservar a umidade do solo e iv) promover redução na disponibilidade de oxigênio que é condição essencial a formação de N₂O tanto pela nitrificação quanto pela desnitrificação. Embora, a palha seja de difícil decomposição devido a sua alta relação C:N, a adição de N pode acelerar a transferência de C ao solo e o efeito do resíduo nas perdas de N₂O. Contudo, o uso do inibidor de nitrificação associado a fertilizantes baseados em NH₄⁺ ganha maior importância como ferramenta de mitigação.

O objetivo deste trabalho foi testar em condições de laboratório o efeito da quantidade de palha de cana-de-açúcar, da aplicação de nitrogênio e do uso de um inibidor de nitrificação (Dicianodiamida) na emissão de N₂O.

MATERIAL E MÉTODOS – O experimento foi conduzido entre os meses de fevereiro e setembro de 2011. O solo (Latossolo Vermelho) foi coletado na camada de 0-20 cm de profundidade em uma área de cana, seco ao ar e peneirado em malha de 2 mm. De acordo com a análise físico-química, o solo apresentava 658 g kg⁻¹ de argila, 219 g kg⁻¹ de areia, 16,8 e 1,0 g kg⁻¹ de C e N total, respectivamente, e pH 5,2 (CaCl₂ 0,01 mol

L⁻¹). A capacidade de retenção de água do solo (CRA) foi de 0,41 g g⁻¹. A palha foi coletada na mesma área, seca ao ar, e seu tamanho foi padronizado em 2 a 3 cm. A palha continha 450 e 2 g kg⁻¹, respectivamente, de C e N.

Antes da aplicação dos tratamentos, o solo foi pré-incubado apenas com a palha de cana aplicada na superfície por 80 dias para simular condições de canavial colhido sem queima. O solo foi colocado em colunas de PVC de 15 cm de diâmetro e 25 cm de altura. A parte inferior da coluna foi fechada, mas um furo conectado a um tubo de silicone foi mantido a fim de drenar excesso de umidade. Para manter um espaço vazio com cerca de 900 cm³, as colunas tiveram alturas diferentes de acordo com a quantidade e a densidade da palha. Em cada coluna foram adicionados 4,45 kg de solo seco. Três diferentes doses de palha (0, 8 e 16 Mg MS ha⁻¹) foram utilizadas, correspondendo a colunas com alturas de 30, 34 e 38 cm, respectivamente. As colunas foram usadas posteriormente como câmaras estáticas para avaliação dos fluxos de gases como as usadas em Souza-Neto et al. (2011). Nas cinco primeiras semanas do período de pré-incubação foram simuladas chuvas equivalentes a 10 mm por semana para que a atividade microbiana não fosse limitada. Após esse período a umidade foi ajustada a 60% da CRA e mantida até o final do ensaio por meio de pesagens diárias.

O experimento consistiu de um fatorial triplo, inteiramente casualizado e com três repetições. Foram testados os três níveis de palha da pré-incubação (0, 8 e 16 Mg MS ha⁻¹), dois níveis de N mineral (0 e 100 kg N ha⁻¹ como (NH₄)₂SO₄) e dois níveis de DCD (sem DCD e com DCD em dose equivalente a 10% da quantidade de N aplicado). A aplicação do fertilizante juntamente com o DCD foi feita sob a palha de cana sem diluição em água.

Após a aplicação dos tratamentos foram realizadas 42 amostragens para determinar os fluxos de N₂O em um período de 120 dias. No início a amostragem foi mais intensiva (diária na primeira semana e a cada dois dias na segunda) e depois foram espaçadas (duas vezes por semana até os 90 dias e semanalmente dos 90 aos 120 dias). Para estimar os fluxos de N₂O, amostras do interior das colunas fechadas com tampas foram retiradas em intervalos de 1, 6, 12 e 20 minutos. A tampa apresenta duas aberturas: uma para coleta da amostra com seringa de polietileno e outra para equilibrar as pressões interna e externa. Em cada intervalo 30 mL de gás foram coletados e transferidos para frascos do tipo Exetainer de 12 mL, previamente evacuados. Após a amostragem as colunas foram mantidas abertas. A análise dos gases foi realizada em um cromatógrafo de gás (GC modelo 2014, Shimadzu Co.). Os fluxos foram calculados a partir do aumento ou diminuição linear da concentração em função dos quatro intervalos e, ajustados conforme o volume da câmara, a temperatura do ar e a pressão atmosférica medidos durante a amostragem. Estimativa da emissão de N₂O foi feita por meio de interpolação linear ao longo das datas de amostragens.

No final do ensaio, a palha remanescente foi completamente removida e as colunas foram divididas em quatro sessões com as profundidades 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-25cm. O solo de cada camada foi analisado para os teores de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺, pH (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹), e

carbono orgânico dissolvido (COD; Wolt, 1994). Apenas os dados da camada superficial são apresentados aqui.

Análises de variância foram realizadas por meio do *software* Winstat 1.0. Todas as comparações estatísticas foram feitas a um nível de significância de 5% e as médias foram comparadas com o Teste de Tukey (p < 0,05). Quando correlações foram significativas (p < 0,05), equações de regressão foram ajustadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO – A emissão cumulativa de N₂O ao longo de 120 dias de incubação para cada dose de palha e em função dos tratamentos aplicados é mostrada na Figura 1. Ao longo do período avaliado tanto fluxos positivos (emissão) quanto negativos (consumo) foram observados. A emissão de fundo nas colunas sem N foi pequena e na média dos seis tratamentos que não receberam o fertilizante nitrogenado a perda foi equivalente a 2,5 mg N m⁻².

O uso da maior dose de palha de cana incrementou a emissão de N₂O em relação ao tratamento sem resíduo quando o N foi aplicado sem DCD (Tabela 2). A emissão de N₂O a partir das colunas com 8 Mg ha⁻¹ foi intermediária e não diferiu das demais doses de resíduo. A emissão nas colunas com 16 Mg ha⁻¹ de palha, com N e sem DCD foi equivalente a 32 mg N m⁻². A maior emissão de N₂O nos tratamentos com a maior dose de palha provavelmente ocorreu devido ao efeito da palha em fornecer COD (Tabela 1). O COD associado ao suprimento de N via fertilizante estimula a atividade heterotrófica e um possível consumo de O₂, o qual favorece perdas de N₂O durante os processos de nitrificação/desnitrificação. A emissão acumulada de N₂O foi significativamente e positivamente correlacionada com o conteúdo de COD na camada 0 - 2,5 cm (r = 0,6, p < 0,01).

Tabela 1. Teores de carbono orgânico dissolvido (COD) na camada superior do solo (0 - 2,5 cm) após 120 dias de incubação do solo com três doses de palha e aplicação de N.

Dose de palhada (Mg ha ⁻¹)	COD (mg L ⁻¹)
0	10.13 b [§]
8	12.73 ab
16	15.56 a
N	
Sem N	10.21 b [§]
Com N	15.10 a

[§]Médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P < 0,05).

A aplicação de sulfato de amônio também aumentou o teor de COD nesta camada (Tabela 1). Dessa forma, a aplicação de N sobre resíduos de cana pode estimular perdas de N₂O tanto pela disponibilidade de substrato quanto pelo efeito sobre a liberação de C solúvel do solo. O efeito de palha de difícil decomposição sobre a concentração de COD também foi relatado por Lemke et al. (1999), os quais reconhecem que o C solúvel é dos mais importantes fatores reguladores das emissões de N₂O do solo. Contudo, apenas o aumento do C solúvel no solo não garante aumento nas perdas de N₂O, uma vez

que a emissão deste GEE segue a lei dos mínimos (Del Grosso et al., 2002).

A aplicação de DCD junto com o fertilizante nitrogenado reduziu os fluxos de N_2O em todos os níveis de palha quando comparados aos tratamentos sem DCD (Tabela 2). A redução na emissão proporcionada pelo uso do inibidor de nitrificação foi maior na dose de 16 Mg ha^{-1} de palha, sendo equivalente a 74%. Para as outras doses, a redução foi menor mas ainda significativa. Na média das doses de 0 e 8 Mg ha^{-1} , o uso de N+DCD reduziu a emissão em 64% em relação aos tratamentos sem o inibidor. Essa redução é intermediária aos valores reportados na revisão de Snyder et al. (2009) e deve-se a um atraso na nitrificação, verificada por meio dos maiores teores de NH_4^+ na camada de 0,0 a 2,5 cm depois de 120 dias nos tratamentos com N+DCD (dados não apresentados). Além das prováveis menores perdas durante a nitrificação, o acúmulo mais gradual de NO_3^- também deve ter contribuído para a menor emissão de N_2O nesses tratamentos. Esperava-se que o DCD fosse reduzir as emissões no início e que após o período efetivo de inibição maiores emissões poderiam ser verificadas nos tratamentos que o receberam. No entanto, nos 120 dias de estudo não se verificou aumentos significativos dos fluxos de N_2O nos tratamentos com N+DCD em nenhum dos níveis de palha. Apesar do efeito dos tratamentos as perdas foram consideradas de baixa magnitude. Del Grosso et al. (2002) relataram que colunas, como as usadas no ensaio, necessitam de umidade além de 60% para estimular a criação de sítios anóxicos e perdas por desnitrificação. Além disso, o tipo de fertilizante pode ter contribuído a menores perdas. Há relatos de que o sulfato de amônio tem um potencial de perda de N como N_2O menor do que a uréia (Tenuta e Beauchamp, 2003). Acredita-se que este fertilizante baseado em NH_4^+ ao reduzir o pH do solo a níveis próximos do limiar da atividade microbiana responsável pela redução do N do solo restringe o efeito da desnitrificação sobre as perdas de N_2O . A aplicação de N como sulfato de amônio, independente do uso do DCD e da palha de cana, reduziu significativamente o pH do solo na camada de 0-2,5 cm (Tabela 3). Ao longo dos 120 dias de incubação, o pH passou de 5,1 na condição inicial para 4,1 na condição sem DCD. O decréscimo foi menor quando o fertilizante foi aplicado com DCD devido a nitrificação mais lenta (Singh et al., 2008), mas ainda acentuado.

CONCLUSÕES - Diante do exposto verifica-se que o aumento da quantidade de palha de cana-de-açúcar sobre a superfície do solo em áreas de usinas sucroalcooleiras no Brasil poderá estimular perdas de N_2O , uma vez que fornece substrato energético prontamente utilizável pela biomassa microbiana. Medidas mitigatórias ainda necessitam ser avançadas, mas diante dos principais resultados observados aqui, o recolhimento da palha da cana com fins à produção de energia pode ajudar a reduzir as emissões desse GEE. Contudo confirmações a respeito da contribuição do acúmulo de palha em áreas de cana no incremento da concentração de N_2O na atmosfera devem ser obtidas a campo e em vários locais. Além disso, a DCD é uma alternativa para reduzir emissões,

principalmente no curto prazo, desde que seu preço seja compatível com os custos da produção. Mais estudos relacionando a viabilidade agrônômica, ambiental e econômica desse produto devem ser realizados.

AGRADECIMENTOS - Ao programa FAPESP/BIOEN (Projeto 2008/56147-1) e ao CNPq (Projeto 479480/2010-9) pelo financiamento à pesquisa. À FAPESP pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor, à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado ao apresentador do trabalho e à FUNDAG à concessão de bolsas aos estagiários.

REFERÊNCIAS

- COOKSON, W., R.; CORNFORTH, I. S. Dicyandiamide slows nitrification in dairy cattle urine patches: effects on soil solution composition, soil pH and pasture yield. *Soil Biol. Biochem.*, 34: 1461-1465, 2002.
- DEL GROSSO, S.; PARTON, W.J.; MOSIER, A.R.; OJIMA, D.S.; KULMALA, A.E.; PHONGPAN, S. General model for N_2O and N_2 gas emissions from soils due to denitrification. *Glob. Biochem. Cycl.*, 14:1045-1060, 2002.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. The physical Science basis: Contribution on working group I to the fourth assessment report of the intergovernment Panel on Climate Change. Paris, 2007.
- LEMKE, R.L.; IZAURRALDE, R.C.; NYBORG, M.; SOLBERG, E.D. Tillage and N source influence soil-emitted nitrous oxide in the Alberta Parkland region. *Can. J. Soil Sci.* 79:15-24, 1999.
- RAVISHANKARA, A.R.; DANIEL, J.S.; PORTMANN, R.W. Nitrous oxide (N_2O): The dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *Science*, 326:123-125, 2009.
- SNYDER, C.S.; BRUULSEMA, T.W.; JENSEN, T.L.; FIXEN, P.E. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 133:247-266, 2009.
- SINGH, J.; SAGGAR, S.; GILTRAP, D.L.; BOLAN, N.S. Decomposition of dicyandiamide (DCD) in three contrasting soil and its effect on nitrous oxide emission, soil respiration activity, and microbial biomass – an incubation study. *Aust. J. Soil Res.*, 46:517-525, 2008.
- SOUZA-NETO, E.; DO CARMO, J.B.; KELLER, M.; MARTINS, S.C.; ALVES, L.F.; VIEIRA, S.A.; PICCOLO, M.C.; CAMARGO, P.; COUTO, H.T.Z.; JOLY, C.A.; MARTINELLI, L.A. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, methane and carbon dioxide in gradient of elevation in the coastal Brazilian Atlantic forest. *Biogeosci.*, 8:733-742, 2011.
- TENUTA, M.; BEAUCHAMP, E. G. Nitrous oxide production from granular nitrogen fertilizers applied to a silt loam soil. *Can. J. Soil Sc.*, 83:521-532, 2003.
- THORBURN, P.J.; MEIER, E.A.; COLLINS, K.; ROBERTSON, F.A. Changes in soil carbon sequestration, fractionation, and soil fertility in response to sugarcane residues retention are site-specific. *Soil Till. Res.*, 120: 99-111, 2012.
- WRI. Working Paper. World Resources Institute. 5p, 2005.

Tabela 2: Emissão cumulativa de N₂O após 120 dias de incubação do solo com três quantidades de palha de cana-de-açúcar e em função da aplicação de N e diaciodiamida.

Dose de palha (Mg ha ⁻¹)	N ₂ O (mg N m ⁻²)							
	Sem DCD		Com DCD		Sem N		Com N	
	Sem N	Com N	Sem N	Com N	Sem DCD	Com DCD	Sem DCD	Com DCD
0	1,44 aB [§]	10,89 bA	1,31 aA	3,85 aA	1,44 A ^o	1,31 A	10,89 A	3,85 B
8	1,53 aB	15,92 bA	0,82 aA	5,91 aA	1,53 A	0,82 A	15,92 A	5,91 B
16	5,37 aB	32,04 aA	2,57 aA	8,44 aA	5,37 A	2,57 A	32,04 A	8,44 B

[§]Médias seguidas de mesmas letras, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p < 0,05), para cada nível de DCD ou N.

Tabela 3: pH na camada de 0-2,5cm após 120 dias de incubação do solo com três quantidades de palha de cana-de-açúcar e em função da aplicação de N e dicianodiamida.

Dose de palhada (Mg ha ⁻¹)	pH do solo			
	Sem N		Com N	
	Sem DCD	Com DCD	Sem DCD	Com DCD
0	4.91 bA	4.95 bA	4.11 aB	4.21 bA
8	5.04 aA	5.05 aA	4.11 aB	4.28 abA
16	5.09 aA	4.98 abB	4.16 aB	4.33 aA

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem significativamente pelo teste Tukey (p < 0,05), para cada nível de N.

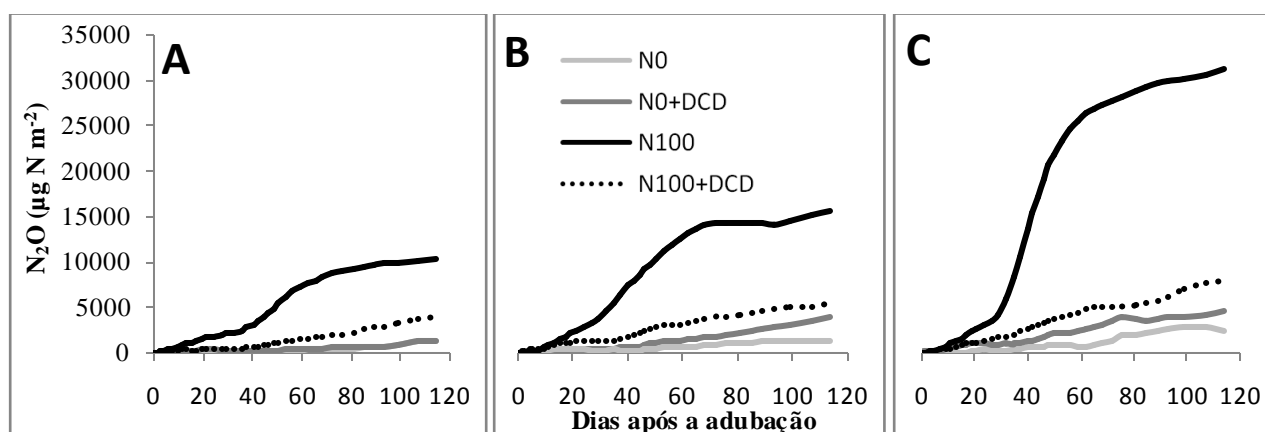


Figura 1: Emissão cumulativa de N₂O após 120 dias a partir de um solo incubado com três doses de palha de cana-de-açúcar e em função da aplicação de N e dicianodiamida. A: sem palha sobre a superfície do solo. B: 8 Mg palha ha⁻¹; C: 16 Mg palha ha⁻¹. Os tratamentos N0, N0 + DCD, N100 e N100 + DCD correspondem, respectivamente, dose 0 kg de N ha⁻¹, dose 0 kg de N ha⁻¹ com aplicação de DCD, dose 100 kg de N ha⁻¹ (N100) e dose 100 kg de N ha⁻¹ com aplicação de DCD.