e-ISSN 0000-0000

Comunicado Técnico 193

Planaltina, DF / Abril, 2025

Estratégia para mitigar emissão de óxido nitroso em cana-de-açúcar irrigada no Cerrado

Arminda Moreira de Carvalho[1], Jéssica Fonseca da Silva[2], Thomaz Adolpho Rein[1], Thais Rodrigues de Sousa[3], Walter Quadros Ribeiro Júnior[1], Alexsandra Duarte de Oliveira[1], Maria Lucrécia Gerosa Ramos[2], Robélio Leandro Marchão[1], Fabiana Piontekowski Ribeiro[2] e Raíssa de Araujo Dantas[2]

[1] Pesquisadores, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. [2] Doutora, University of Cambridge, Cambridge, Reino Unido. [3] Estudante de doutorado na Universidade de Brasília, Brasília, DF. [4] Bolsista de extensão (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Introdução

A área de canaviais no Brasil para a safra 2024/2025 foi de 8,7 milhões de hectares e a produção de cana-de-açúcar para a mesma safra foi de 678,67 milhões de toneladas (Conab, 2024). A expansão do setor sucroalcooleiro, com crescimento nas últimas décadas de 379% da área plantada na região Centro-Oeste, passou a exigir o desenvolvimento de tecnologias apropriadas ao manejo da cana-de-açúcar no Cerrado. A melhoria da produtividade e redução do custo de produção são as principais demandas das usinas dessa região. As pesquisas em irrigação da cana-de-açúcar mostram o grande potencial dessa prática na elevação da produtividade da cultura no Cerrado (Batista et al., 2024). O Brasil possui atualmente 3,66 Mha irrigados, sendo que 79,5% da área é fertirrigada, 15,5% aplicada irrigação de salvamento, 4,2% com déficit e 0,8% irrigação plena. Na região Centro-Sul a área que recebe irrigação propriamente dita corresponde a 2,9% da área sob cultivo de cana, enquanto que a fertirrigação com vinhaça e água residuária corresponde a 29,1% (ANA, 2019).

O País atende cerca de 16% de suas necessidades energéticas com bioetanol e outros produtos da cana-de-açúcar e é líder mundial em produção de energia a partir dos biocombustíveis. No entanto, a emissão de gases de efeito estufa (GEEs) como o óxido nitroso (N_2O) associadas às altas doses de fertilizantes nitrogenados e vinhaça aplicadas na cultura de cana-de-açúcar irrigada (Da Silva et al., 2017; Carvalho et al., 2021a, 2021b) produzem impacto ambiental.

Destaca-se, ainda, que o potencial de aquecimento do N_2O é cerca de 298 vezes maior do que o do dióxido de carbono (CO_2) em um horizonte de 100 anos. O setor agropecuário é responsável por 87% das emissões de N_2O e a principal causa dessas emissões é o aporte de nitrogênio (N) aos solos agrícolas, tanto na forma de fertilizantes sintéticos como orgânicos. Cerca de 1% do N aplicado na adubação é convertido em N_2O, sendo denominado de “fator de emissão”, que pode variar em função do tipo de solo, da drenagem e do manejo utilizado, principalmente, da irrigação.

Em geral, o fator de emissão é inferior a 1% e emissão acumulada de N_2O inferior a 5 kg/ha nas condições dos solos agrícolas bem drenados do Cerrado (Carvalho et al., 2021a, 2021b) (Figura 1). A vinhaça é um subproduto da destilação de bioetanol, rico em nutrientes, e existe preocupação de que sua aplicação possa agravar o problema de emissão de N_2O em áreas em que fertilizantes e irrigação já são utilizados. Os fluxos de N_2O do solo em áreas de cana-de-açúcar submetidas ao uso de fertilizantes nitrogenados e vinhaça, aplicados conjuntamente, são, em média, pelo menos, três vezes maiores do que quando esses dois adubos são aplicados separadamente (Da Silva et al., 2017; Paredes et al., 2014).

Embrapa Cerrados

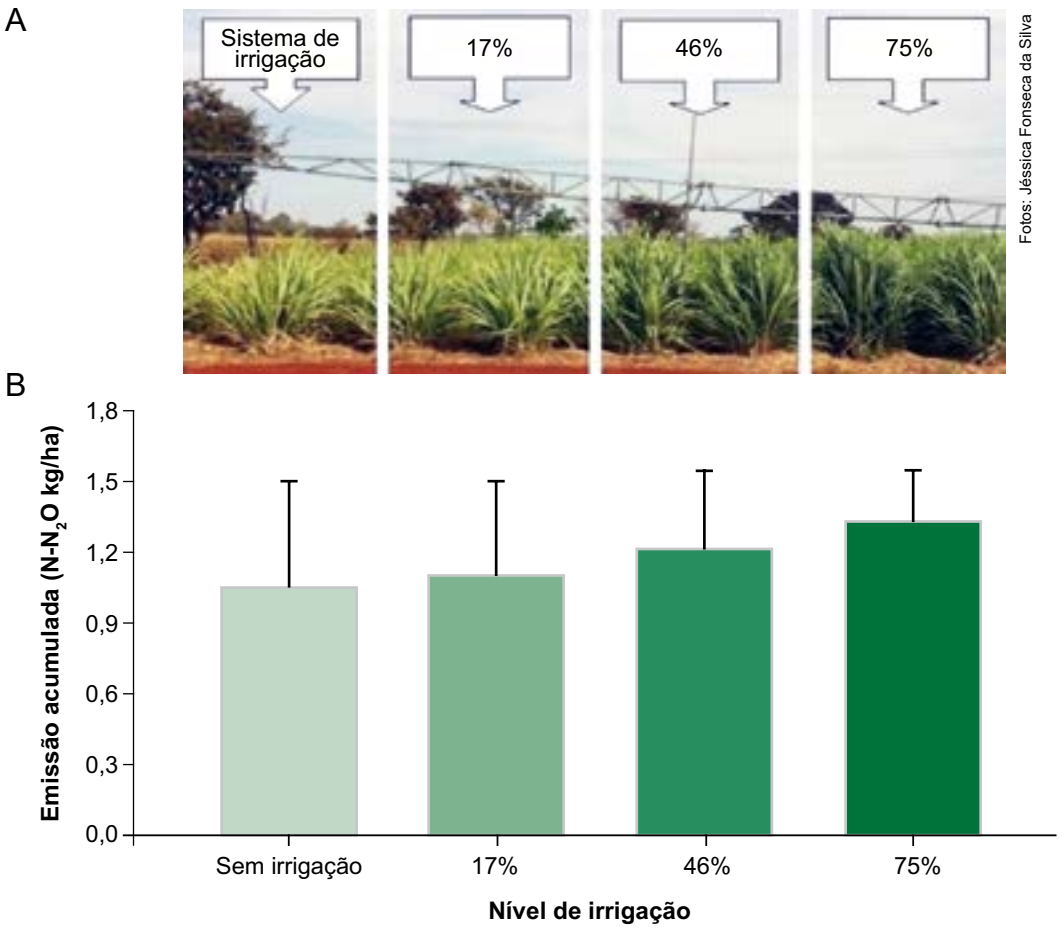

Figura 1. Experimento de cana-de-açúcar irrigada (A) e emissão acumulada em kg/ha de N-N_2O sob diferentes regimes de hídricos (percentagem de atendimento da evapotranspiração potencial da cultura), Planaltina, DF (B).

Fonte: Da Silva et al. (2017).

Como fazer a aplicação de vinhaça e fertilizante nitrogenado?

Foram avaliados a combinação de fertilização nitrogenada juntamente com a aplicação de vinhaça como fonte de N à cultura e os impactos na produtividade e emissão de N_2O (Da Silva et al., 2017). A vinhaça, devido ao seu teor relativamente baixo de N (0,3 a 0,8 kg/m^3 de N), pode não suprir totalmente a demanda de nitrogênio da cultura da cana-de-açúcar, tornando necessária a sua associação com fertilizantes nitrogenados.

Para obter os resultados da interação entre fertilização nitrogenada e irrigação, foram aplicados três tratamentos de fertilização nitrogenada: a) nitrato de amônio, b) vinhaça e c) uma combinação de ambas (NV). Esses tratamentos foram combinados com dois níveis hídricos: sem irrigação (SI) e com 75% da demanda evapotranspiratória. Com isso, foram obtidas três parcelas replicadas para cada um dos seguintes tratamentos: nitrogênio sem irrigação (N0), vinhaça sem irrigação (V0), nitrogênio mais vinhaça sem irrigação (NV0), nitrogênio sob irrigação (N75), vinhaça sob irrigação (V75), nitrogênio mais vinhaça sob irrigação (NV75), segundo metodologia detalhada em Da Silva et al. (2017) e Carvalho et al. (2021). A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB867515 (terceira soca) e todo o palhiço da colheita anterior foi mantido na área, com aporte de aproximadamente 10 Mg/ha/ano em todos os tratamentos. Todo o experimento foi irrigado com 40 mm de água após 10 dias da fertilização (irrigação de salvamento). Esses tratamentos foram combinados com dois regimes hídrico: sem irrigação (SI) e com 75% da demanda evapotranspirativa.

A aplicação do fertilizante nitrato de amônio (NH_4NO_3) foi realizada na dose de 100 kg/ha de N, ao longo de ambos os lados da linha de cana. A adubação ocorreu em dois momentos, conforme a recomendação: a primeira aplicação foi feita no início da estação seca, em 6 de maio, logo após a colheita anterior, e a segunda, no início da estação chuvosa, em 19 de novembro, totalizando uma aplicação anual de 200 kg/ha de N. A vinhaça fresca

(com até 3 dias desde a produção) foi aplicada superficialmente e de maneira uniforme em toda a parcela, na dose de 150 m^3/ha, imediatamente após a adição do nitrato de amônio (NH_4NO_3).

Para compensar o efeito da umidade do solo sobre as emissões de N_2O, nas parcelas sem vinhaça, foi adicionada água no mesmo volume da aplicação de vinhaça, ou seja, 150 m^3/ha.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho, representativo das áreas de Cerrado, em que houve expressiva expansão da cana-de-açúcar. As características granulométricas na camada de 0–20 cm são as seguintes: 37,1 g/kg; areia 422 g/kg, argila 534 g/kg e silte 44 g/kg.

Como foram realizadas as medições da emissão de N_2O?

Para as medições de N_2O, utilizou-se o método das câmaras estáticas. Cada câmara era composta por uma base metálica (0,38 × 0,58 m) inserida no solo e uma parte superior de PVC revestida por uma manta térmica de alumínio, que, em conjunto com a base metálica, vedava o espaço delimitado, formando um microambiente (Figura 2A).

Após o fechamento das câmaras, aproximadamente 30 mL de gás foram coletados com seringas de polipropileno de 60 mL e posteriormente transferidos para vials. Essas amostras foram mantidas imersas em bandeja com água para preservação até as análises no cromatógrafo a gás do Laboratório de Cromatografia Gasosa da Embrapa Cerrados (Thermo Scientific Model Trace 1310), equipado com uma coluna Porapak Q e um detector de captura de elétrons (ECD) (Figura 2B).

A vinhaça fresca (máximo de 3 dias desde a produção) foi aplicada uniformemente em toda a parcela, 150 m^3/ha, imediatamente após a adição de NH_4NO_3.

A emissão cumulativa anual de N-N_2O do solo nos diferentes tratamentos de cana-de-açúcar variou de 0,5 a 2,9 kg/ha. As parcelas submetidas à combinação N mais vinhaça sob irrigação (NV75) apresentou maior emissão. Os tratamentos com aplicação de vinhaça como única fonte de N mineral (V0 e V75) apresentam baixas emissões com a mesma produtividade dos demais tratamentos (Tabela 1).

Fotos: Fabiana Piontekowski Ribeiro

Figura 2. Esquema metodológico de preparo, coleta e análise. (A) Instalação de câmara estática; (B) Vials contendo óxido nitroso (N_2O) para leitura em cromatografia gasosa.

Tabela 1. Nitrogênio mineral aplicado como fertilizante (kg/ha), produtividade de colmos (Mg/ha) e emissões de N_2O acumulado (N-N_2O kg/ha) na cana-de-açúcar com diferentes doses de vinhaça, N-fertilizante e lâminas de irrigação, Planaltina, DF.

Tratamento	N aplicado (kg/ha)	Produtividade de colmos (Mg/ha)[1]	N_2O Acumulado N-N_2O (kg/ha)[2]
N0	200	90 (15) a	0,57 c (0,02)
N75	200	132 (9) a	0,78 c (0,03)
NV0	202,7	92 (16) a	2,34 b (0,16)
NV75	202,7	138 (8) a	2,91 a (0,20)
V0	2,7	106 (4) a	0,59 c (0,03)
V75	2,7	127 (9) a	0,50 c (0,03)

[1]Média (± erro padrão).
[2]Mediana (± desvio absoluto interquartil médio).

A adição de compostos orgânicos lábeis (facilmente oxidáveis), representados pela vinhaça, somada à irrigação e à aplicação de fertilizante nitrogenado, aumenta a atividade microbiana, acelerando a decomposição da matéria orgânica do solo e reduzindo os níveis de oxigênio (Lisboa et al., 2011). Essas condições ocorreram no tratamento NV75, no qual havia um excedente de N, alta disponibilidade de carbono orgânico lábil e elevada umidade. Estudos anteriores em áreas de cultivo de cana-de-açúcar também mencionaram o efeito desses fatores nos picos de fluxos de N_2O (de Oliveira et al., 2013; Paredes et al., 2014).

Nos tratamentos em que a vinhaça foi utilizada exclusivamente como fonte de N, observou-se um efeito na mitigação de N_2O, com menor emissão e manutenção da mesma produtividade de colmos. Além disso, a vinhaça é um insumo obtido na própria usina, sendo um subproduto do processo industrial de transformação da cana-de-açúcar em álcool, o que contribui para a redução dos custos de produção (Da Silva et al., 2017).

Considerações finais

Nas condições do Cerrado, as maiores emissões acumuladas de N_2O estiveram associadas ao uso combinado de vinhaça e fertilizante nitrogenado em sistema irrigado, resultando em emissões acumuladas de N_2O três vezes superiores às observadas onde a vinhaça foi aplicada como única fonte de N.

Portanto, recomenda-se aplicação separadamente da vinhaça e do N mineral, com intervalo de pelo menos 1 mês, para redução das emissões de N_2O, destacando o aumento dos custos com essas duas operações.

Referências

ANA (Agência Nacional de Águas). **Levantamento da cana-de-açúcar irrigada e fertirrigada no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF: ANA, 2019. 53 p.

BATISTA, L. M. T.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; BUFON, V. B.; SOUSA, R. Z.; VINSON, C. C.; DEUNER, S. Effect of Irrigation on Sugarcane Morphophysiology in the Brazilian Cerrado. **Plants**, v. 13, p. 937-955, 2024.

CARVALHO, A. M.; OLIVEIRA, A. D.; REIN, T. A. **Qual é o Impacto da Adubação Nitrogenada e Práticas Agrícolas na Emissão de N_2O?** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021a. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/226568/1/CT-47-Arminda-Ainfo.pdf. Acesso em: 13 dez. 2024.

CARVALHO, A. M.; OLIVEIRA, A. D.; COSER, T. R.; SOUSA, T. R.; LIMA, C. A; RAMOS, M. L. G.; MALAQUIAS, J. V.; GONÇALVES, A. D. M. A.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q. N_2O emissions from sugarcane fields under contrasting watering regimes in the Brazilian savannah. **Environmental Technology & Innovation**, v. 22, 101470, 2021b. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101470.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. 2024. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar. Acesso em: 12 dez. 2024.

DA SILVA, J. F.; CARVALHO, A. M. de; REIN, T. A.; COSER, T. R.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; VIEIRA, D. L.; COOMES, D.A. Nitrous oxide emissions from sugarcane fields in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems & Enrivonment**, v. 246, p. 55-65, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.019.

DE OLIVEIRA, B. G.; CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J. Soil greenhouse gas fluxes from vinasse application in Brazilian sugarcane areas. **Geoderma**, v. 200-201, p. 77-84, Jun. 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.02.005.

LISBOA, C. C.; BUTTERBACH-BAHL, K.; MAUDER, M.; KIESE, R. Bioethanol production from sugarcane and emissions of greenhouse gases − known and unknowns. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 3, p. 277-292, 2011. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01095.x.

PAREDES, D. da S.; LESSA, A. C. da R.; DE SANT'ANNA, S. A. C.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R. Nitrous oxide emission and ammonia volatilization induced by vinasse and N fertilizer application in a sugarcane crop at Rio de Janeiro, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 98, p. 41-55, 2014. DOI: 10.1007/s10705-013-9594-5.

Embrapa Cerrados
BR 020, Km 18, Rod. Brasília-Fortaleza
Caixa Postal 08223
73310-970 Planaltina, DF
www.embrapa.br/cerrados
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente: *Eduardo Alano Vieira*

Secretária-executiva: *Lidiamar Barbosa de Albuquerque*

Membros: *Alessandra de Jesus Boari, Alessandra Silva G. Faleiro, Angelo Aparecido Barbosa Sussel, Fábio Gelape Faleiro, Fabíola de Azevedo Araújo, Giuliano Marchi, Jussara Flores de Oliveira Arbues, Karina Pulrolnik, Maria Emília Borges Alves e Natália Bortoleto Athayde Maciel*

Comunicado Técnico 193
ISSN 0000-0000
Abril, 2025

Edição executiva e
revisão de texto: *Jussara Flores O. Arbues*

Normalização bibliográfica:
Marilaine Schaun Pelufê (CRB-1/2045)

Projeto gráfico: *Leandro Sousa Fazio*

Diagramação: *Wellington Cavalcanti*

Publicação digital: PDF

Ministério da Agricultura e Pecuária

Todos os direitos reservados à Embrapa.

CGPE 19078