

## Aplicação de esgoto via gotejamento subsuperficial e emissão de gases de efeito estufa no cultivo de cana-de-açúcar

Edson E. Matura<sup>1</sup>; Eduardo A. A. Barbosa<sup>2</sup>; Aline A. Nazario<sup>2</sup>; Leonardo N.S. Santos<sup>2</sup>; Ivo Z. Gonçalves<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DSc. Engenheiro agrônomo, professor titular FEAGRI/UNICAMP (Av. Candido Rondon, 501 - Cidade Universitária, Campinas - SP); e-mail: eematura@gmail.com.

<sup>2</sup>MSc. Engenheiro agrônomo, doutorando na FEAGRI/UNICAMP (Av. Candido Rondon, 501 - Cidade Universitária, Campinas - SP).

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

**RESUMO:** O estudo objetivou avaliar a emissão de gases de efeito estufa da cana-de-açúcar irrigada via gotejamento subsuperficial, com água de reservatório superficial (AR) e esgoto doméstico tratado (EDT), com e sem adubação via fertirrigação e cultivo não irrigado com adubação de cobertura. O experimento foi desenvolvido em Campinas, SP, em Latossolo vermelho distroférrico, com os tubos gotejadores instalados a 0,20 cm. O EDT foi aplicado para reposição hídrica e a fertirrigação foi realizada complementando os nutrientes presente nas águas. Os gases mensurados foram o  $C-CO_2$ ;  $N_2O$  e  $CH_4$ , sendo expressos em carbono equivalente ( $C_{eq}$ ). Os cultivos irrigados com EDT apresentam incremento na emissão de  $C-CO_2$  de aproximadamente 22% em relação ao T5ANf. O cultivo não irrigado emite altas taxas de óxido nitroso quando comparada aos demais tratamentos, e os cultivos fertirrigados apresentam potencial de mitigar a emissão do  $N-N_2O$  na agricultura. No cultivo da cana-de-açúcar, o metano apresentou baixa influência na emissão total dos gases de efeito estufa, possuindo características sumidoura, com a cana-de-açúcar não irrigada obtendo maior influxo do  $C-CH_4$  no solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fertirrigação; Fluxo de  $CO_2$ ; Óxido nitroso; Efluente; Reuso.

## Sewage application by subsurface drip and emission of greenhouse gases in cultivation of sugarcane

**ABSTRACT:** The study aimed evaluate the emission of greenhouse gases from sugarcane irrigated by subsurface drip irrigation with water reservoir (WR) and treated domestic sewage (TDS), with and without fertigation and cultivation non-irrigated with topdressing fertilizer. The experiment was developed in Campinas, SP, in Oxisol, with dripline installed to 0.20 cm. The TDS was applied to hydric reposition and the fertigation was carried complementing the nutrients present in waters. The gases measured, were  $C-CO_2$ ,  $N-N_2O$  and  $C-CH_4$ , and were expressed in equivalent carbon ( $C_{eq}$ ). The irrigated crops with TDS increased the  $C-CO_2$  emission in approximately 22% in relation to T5ANf. The non-irrigated cultivation emits high levels of nitrous oxide when compared to others treatments, and the fertirrigated cultivations showed potential to mitigate the emission of  $N-N_2O$ . In the cultivation of sugarcane, methane showed little influence on the total emission of greenhouse gases, having sumidoura characteristics, with sugarcane non-irrigated obtained greatest influx of  $C-CH_4$ .

**KEYWORDS:** Fertigation; Carbon flux; Nitrous oxide; Wastewater; Resuse

**INTRODUÇÃO:** O cultivo de cana-de-açúcar para a geração de bioenergia em substituição aos combustíveis de origem fóssil cresceu significativamente nos últimos anos, devido, entre outros fatores, ao potencial atenuador dos gases de efeito estufa (GEE) (Smith et al., 2008), entretanto, o desmatamento e a liberação de gases durante o cultivo (Lal, 2004), geram inúmeros questionamentos sobre os benefícios dos biocombustíveis em reduzir a emissão GEE. A agricultura é responsável por 84% das emissões de óxido nitroso (Smith et al., 2008), sendo um desafio para o setor reduzir as emissões deste gás, com o uso de técnicas eficientes na aplicação dos adubos nitrogenados. Em

sistemas fertirrigados os nutrientes são dispostos em baixa dosagem e alta frequência de aplicação, reduzindo as perdas por lixiviação e volatilização (Roberts, 2008). A técnica da irrigação por gotejamento subsuperficial (IGS) é aconselhável também para disposição de efluentes (Lamm et al., 2007), como o esgoto doméstico. A aplicação de esgoto doméstico tratado (EDT) na agricultura, além de ser prática de reuso, traz consigo vantagens econômicas por reduzir a aplicação de fertilizantes, especialmente os nitrogenados (Fonseca et al., 2005; Leal et al., 2009). Tal prática ganha melhores perspectiva quando aplicada via irrigação por gotejamento, especialmente o sistema subsuperficial, em virtude da alta uniformidade de aplicação de água e disposição diretamente na zona radicular das culturas (Lamm et al., 2007). Neste contexto, este estudo tem como objetivo realizar o balanço de gases do efeito estufa, contabilizando as emissões de carbono, óxido nitroso e metano em contraste ao carbono total remanescente da cana-de-açúcar irrigada com EDT e ARS, e, com e sem complementação nutricional.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi desenvolvido no campo experimental da FEAGRI/UNICAMP, Campinas, SP. Latitude de 22°53'S e Longitude de 47°05'W. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cwa/Cfa, e o solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico. A variedade cultivada foi a RB867515, com plantio em maio de 2011 e colheita da cana-planta, em setembro de 2012, iniciando o cultivo da primeira cana-soca. Os tratamentos foram: testemunha não irrigada com adubação manual em cobertura (T1NI); cultivo irrigado com EDT e fertirrigação complementar (T2EF); cultivo irrigado com EDT, sem complementação nutricional (T3ENf); cultivo irrigado com água de reservatório superficial (ARS), com fertirrigação complementar (T4AF); e, cultivo irrigado com ARS, sem adubação complementar (T3ANf). A ARS foi proveniente de uma lagoa localizada próximo a área experimental. O EDT foi originário do efluente gerado nas edificações da FEAGRI, e tratada em reatores anaeróbicos e tanque de macrófitas. Para caracterização química e nutricional foi realizada cinco amostragem durante o período de irrigação, e coletada a água logo após o sistema de filtragem de areia, da irrigação. As coletas e acondicionamento seguiram padronizada da "*Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*" (APHA, 1999). Na Tabela 1, é ilustrado um resumo dos parâmetros qualitativos, com valores médios das análises realizadas ao longo do ciclo.

**Tabela 1** - Valores médios das análise química do esgoto doméstico tratado (EDT) e da água de reservatório superficial (ARS), coletadas após o sistema de filtragem, no período experimental.

Elementos	N*	K	S	Na	DQO	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> - P	RAS	CE
				mg L <sup>-1</sup>				
EDT	74.8	25.7	11.2	64.5	45.6	13.3	18.9	1091.8
ARS	0.91	1.13	<5	2.2	23.7	<0.1	1.19	65.2

\*Nitrogênio total sendo NO<sub>3</sub><sup>-</sup> < 0.3 mg L<sup>-1</sup>, DQO – demanda química por oxigênio, RAS - Razão de adsorção de sódio; CE – Condutividade elétrica.

Os tratamentos foram: testemunha não irrigada com adubação manual em cobertura (T1NI); cultivo irrigado com EDT e fertirrigação complementar (T2EF); cultivo irrigado com EDT, sem complementação nutricional (T3ENf); cultivo irrigado com água de reservatório superficial (ARS), com fertirrigação complementar (T4AF); e, cultivo irrigado com ARS, sem adubação complementar (T3ANf). A adubação seguiu a recomendação de ROSSETO et al. (2008), aplicando como adubação de base 120, 40 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente Para a determinação do fluxo de carbono do solo (FCO<sub>2</sub>), utilizou um analisador de gás por infravermelho (IRGA), portátil, LI-COR 8100. A câmara do equipamento foi sobreposta em tubos de PVC, em forma de colares, previamente inseridos no solo a uma profundidade de 3 cm. O metano (C-CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N-N<sub>2</sub>O) foram estimados pelo método da câmara estática fechada, com análise da concentração dos gases em cromatografia (CEF). As câmeras foram confeccionadas em tubos de PVC, do tipo *defofo* com 23 cm de altura e 25 cm de diâmetro, e foram enterradas a 3 cm no solo, assim a altura da câmara tomando como referência a superfície do solo tinha 0,20 m de altura. As coletas foram realizadas segundo o procedimento descrito por Carmo et al. (2013). Após a coleta os frascos foram encaminhados para a Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, com a análise dos gases em cromatografo gasoso, modelo Schimadzu GC-2014. A amostragem das raízes foi realizada com auxílio de uma sonda com 0,072 m de diâmetro interno e 0,20 m de altura. Posteriormente a amostragem separou as

raízes, lavando-as com auxílio de peneiras de 1 mm, e separado as impurezas. Após a separação, raízes foram secas em estufa até massa constante. A massa seca das raízes por hectare foi determinada conforme metodologia descrita por Otto et al. (2009). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e foi realizado o teste de Tukey a 5% de significância.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Durante o ciclo de cultivo da primeira soca, foi constatado incremento no fluxo acumulado de C-CO<sub>2</sub> dos tratamentos irrigados com EDT em relação ao T5ANf (Figura 1A), com aumento na ordem de 23 e 18% para o T2EF e T3ENf. O aumento na emissão de C-CO<sub>2</sub> ocorre pela incorporação do carbono orgânico com adequado suprimento de N, características presentes no EDT (Tabela 1), que será mineralizado por microorganismos do solo (Barton e Schipper, 2001). Além do efeito direto, do EDT, a disposição de água com adequado conteúdo nutricional, favorece o desenvolvimento do sistema radicular na região do bulbo molhado (Sousa et al. 2013). O sistema radicular é uma importante fonte de emissão de C-CO<sub>2</sub>, segundo Melillo et al. (2002), este órgão responde por 20% da emissão total de CO<sub>2</sub> em áreas de vegetação.

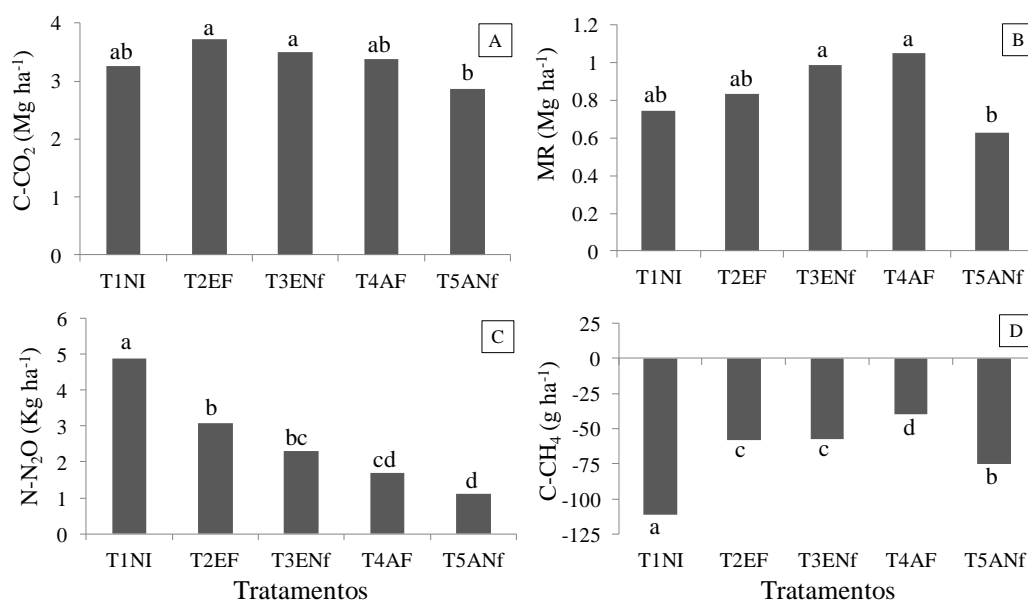


Figura 1 - Emissões acumuladas de C-CO<sub>2</sub> (A), C-CH<sub>4</sub> (B), N-N<sub>2</sub>O (C) e massa seca de raiz da menor linha dupla até a profundidade de 0,60 m (MR) (D), nos tratamentos, não irrigado (T1NI), irrigado com EDT e fertirrigação complementar (T2EF), irrigado com EDT sem complementação nutricional (T3ENf), irrigado com ARS e fertirrigação complementar (T4AF), irrigado com ARS sem complementação nutricional (T5ANf).

Por meio da Figura 1B, é constatado efeito significativamente dos tratamentos T3ENf e T4AF, com incremento na massa de raiz coletada na menor entre linha (0,40 m), para o tratamentos T5ANf. No T2EF, não houve efeito da aplicação do tratamento sobre a massa de raiz ( $p < 0,05$ ), entretanto, o valor médio absoluto do T2EF foi 25% superior ao T5ANf. A emissão acumulada de N-N<sub>2</sub>O no cultivo não irrigado com adubação de cobertura foi superior a verificada nos demais tratamento, com valor médio de 4,86 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 19C), determinando que a prática da fertilização nitrogenada, com a mesma quantidade de fertilizantes minerais ou orgânica (T2EF e T4AF), via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, aplicado na profundidade de 0,20 m em cana-de-açúcar, reduz a emissão de N-N<sub>2</sub>O ao longo do ciclo, minimizando a poluição atmosférica e é indicativo de menor perda de N no sistema produtivo. O tratamento irrigado com EDT e fertirrigado apresentou aumento de 80% na emissão de N-N<sub>2</sub>O em relação ao seu correspondente irrigado com ARS. Baron e Schipperand (2001) obtiveram resultados semelhantes ao comparar a aplicação de efluente de laticínio e fertilizantes inorgânicos, e atribuíram o efeito ao rápido processo de desnitrificação, quando aplicado fertilizantes orgânica. Os fluxos de metano, em todos os tratamentos, foi extremamente baixo e com comportamento sumidouro, diferentemente da irrigação por inundação que contribuiu significativamente para a emissão deste gás (Liu et al., 2013). Assim os resultados permitem afirmar que a IGS, contribui para o processo de mitigação das emissões de metano. O influxo de metano no solo ocorreu de maneira acentuada no

cultivo não irrigado, com acumulado de 112 g ha<sup>-1</sup>, diferindo significativamente dos tratamentos irrigados (Figura 19D). O processo de influxo é consequência da oxidação do CH<sub>4</sub> por bactérias aeróbicas do solo, chamadas de metanotróficas (Le Mer e Roger, 2001), sendo influenciada pela difusividade do gás no solo. A porosidade livre de água regula a difusividade do metano no solo (Dalal et al., 2008), e apresenta relação inversa com o FC-CH<sub>4</sub> (Kessavalou et al., 1998). Nos cultivos irrigados a umidade foi mantida sempre próxima a capacidade de campo, reduzindo a capacidade de oxidação do metano em relação ao TINI.

**CONCLUSÕES:** Os cultivos irrigados com EDT apresentaram incremento na emissão de C-CO<sub>2</sub> quando comparado ao irrigado com ARS sem complementação nutricional. O cultivo não irrigado obteve maior emissão de óxido nítrico, com os cultivos fertirrigados apresentando potencial de mitigar a emissão do N-N<sub>2</sub>O em relação ao cultivo com adubação de cobertura. No cultivo da cana-de-açúcar, o metano apresentou baixa influência na emissão total dos gases de efeito estufa, possuindo características sumidouira, com a cana-de-açúcar não irrigada obtendo maior influxo do C-CH<sub>4</sub> no solo.

**AGRADECIMENTO:** O primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa de estudo, agradece-se a FAPESP e CAPES pelo apoio financeiro ao projeto.

## REFERÊNCIAS

- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: American Public Health Association; AWWA; WPCF, 1999. 1569 p.
- BARTON, L.; SCHIPPERAND L.A. Regulation of nitrous oxide emissions from soils irrigated with dairy farm effluent. **J. Environ. Qual.**, v.30, n.3, p.1881-1887, 2001.
- CARMO, J.B.; ET AL.; et al. Infield greenhouse gas emission from sugarcane soil in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crops trash accumulation. **GCB Bioenergy**, v.5, n.3, p.267-280, 2013.
- FONSECA, A.F.; HERPIN, U.; PAULA, A.M.; VICTÓRIA, R.L.; MELFI, A.J. Agricultural use of treatment sewage effluents: Agronomic and environmental implications and perspective for Brazil. **Sci. Agric.**, v.64, n.2, p.194-209, 2007.
- KESSAVALOU, A.; MOSIER, A.R.; DORAN, J.W.; DRIJBER, R.A.; LYON, D.J.; HEINEMEYER, O. Fluxes of carbon dioxide, nitrous oxide, and methane in grass sod and winter wheat-fallow tillage management. **J. Environ. Qual.**, v.27, p.1094-1104, 1998.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v.23, p.1-22, 2004.
- LAMM, F.R.; AYARS, J.E.; NAKAYAMA, F.S. **Microirrigation for crop production: design, operation and management**. Elsevier:Amsterdam, 2007, 618p.
- LEAL, R. M. P.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J.; PIEDADE, S. M. S. Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, n.2, p. 242-249, 2009.
- LE MER, J.; ROGER, P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soil: A review. **European Journal of Soil Biology**, v.37, p.25-50, 2001.
- LIU Y.; WAN, K.; TAO, Y.; LI, Z.; ZHANG, G.; LI, S.; CHEN, F. Carbon dioxide flux from rice paddy soils in central china: Effects of intermittent flooding and draining cycles. **PLOS ONE**, v.8, n.2, p.1-8, 2013.
- MELILLO, J.M.; STEUDLER, P.A.; ABER, J.D.; et al. Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system. **Science**, v.298, p.2173-2176, 2002.
- OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O. Fitomassa de raiz e parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.4, p.398-405, 2009.
- QIN, Y.M.; LIU, S.W.; GUO, Y.Q.; LIU, Q.H.; ZOU, J.W. Methane and nitrous oxide emissions from organic and conventional rice cropping systems in Southeast China. **Biol. Fertil. Soils**, v.46, 825-834, 2010.
- ROBERTS, T. L. Improving nutrients use efficiency. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v.32, p.177-182, 2008.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C. fertilidade do solo, nutrição e adubação. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 882p. 2008.
- RUSER, R.; FLESSA, H.; RUSSOW, R.; SCHIMIDT, G.; BUEGGER, F.; MUNCH, J. C. Emission of N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, and CO<sub>2</sub> from soil fertilized with nitrate: effect of compaction, soil moisture, and rewetting. **Soil Biology and Biochemistry**, v.38, p.263-274, 2006.
- SOUSA, A.C.M.; MATSURA, E.E.; ELAIUY, M.L.C.; SANTOS, L.N.S.; MONTES, C.R.; PIRES, R.C.M. Root system distribution of sugarcane irrigated with domestic sewage effluent application by subsurface drip system. **Eng. Agric.**, v.33, n.4, p.647-657, 2013.
- SMITH, P.; et al. Greenhouse gas mitigation in agriculture. **Phil. Trans. R. Soc.**, v.363, p.789-813, 2008.