

LIXIVIAÇÃO E VOLATILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO EM CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR
IRRIGADO COM EFLUENTE VIA GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

NÁDIA V. RIBEIRO¹; EDUARDO A. A. BARBOSA²; IVO G. ZUTION³; ALINE A.
NAZARIO⁴; EDSON E. MATSURA⁵

¹ Graduanda em Eng. Agrícola na FEAGRI/UNICAMP (Av. Candido Rondon, 501 - Cidade Universitária, Campinas - SP); e-mail: nadia.lossavaro@gmail.com

² MSc. Engenheiro agrônomo, doutorando na FEAGRI/UNICAMP (Av. Candido Rondon, 501 - Cidade Universitária, Campinas - SP), e-mail: eduardo.agnellos@gmail.com

³ MSc. Engenheiro agrônomo, doutorando na FEAGRI/UNICAMP (Av. Candido Rondon, 501 - Cidade Universitária, Campinas - SP), e-mail: ivo.zution@gmail.com

⁴ MSc. Engenheiro agrônomo, doutorando na FEAGRI/UNICAMP (Av. Candido Rondon, 501 - Cidade Universitária, Campinas - SP), e-mail: alineanazario@gmail.com

⁵ DSc. Engenheiro agrônomo, professor titular FEAGRI/UNICAMP (Av. Candido Rondon, 501 - Cidade Universitária, Campinas - SP); e-mail: eematsura@gmail.com

Apresentado no

XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014

27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: O presente estudo objetivou avaliar as perdas de nitrogênio (N) por lixiviação do nitrato e volatilização do óxido nitroso no cultivo da cana-de-açúcar irrigada via gotejamento subsuperficial (IGS), com água de reservatório superficial (AR) e efluente de esgoto tratado (EET), com e sem fertirrigação complementar e cultivo não irrigado com adubação de cobertura. O estudo foi desenvolvido durante o ciclo da primeira cana-soca, com tubo gotejador instalado a 0,20 cm, a adubação nitrogenada de base foi de 120 Kg de N ha⁻¹. No cultivo não irrigado, a adubação de N foi realizada em cobertura na linha de cultivo, e nos sistemas fertirrigados, foi realizada complementando o N presente no EET e na AR. Ao final do ciclo, os tratamentos fertirrigados com ambas as qualidades de água apresentaram perdas por lixiviação inferiores às verificadas no tratamento não irrigado. Constatou-se que a aplicação de EET via IGS na profundidade de 0,20 m, ocasionou redução na emissão de N₂O quando comparada à adubação de cobertura utilizando a ureia. Desta forma, concluiu que a aplicação de EET para suprimento hídrico e nutricional, resultou em menores perdas de N por lixiviação do NO₃⁻ e volatilização do N₂O em relação ao cultivo tradicional, não irrigado.

PALAVRAS CHAVES: Lixiviação de nitrato, Volatilização, Óxido nitroso, Água residuária.

LEACHING AND VOLATILIZATION OF NITROGEN IN CULTIVATION OF SUGAR
CANE IRRIGATED WITH EFFLUENT VIA SUBSURFACE DRIP

ABSTRACT: The present study aimed to evaluate nitrogen (N) losses through nitrate leaching and volatilization of nitrous oxide in the cultivation of cane sugar irrigated by subsurface drip (ISD), with water reservoir (WR) and effluent treated sewage (ETS) and with, and without, complementary fertigation of NPK by subsurface drip irrigation, and in non-irrigated cropping with topdressing fertilizer. The study was conducted during the course of the first ratoon cane, with the drip line installed to 0.20 m, the nitrogen fertilizer was 120 kg N ha⁻¹. In non-irrigated cropping, N fertilization was performed in covering the row of plants, and at the irrigated system, it was realized supplementing the nutrient present in the ETS and WR. At the end of cultivation cycle, the fertigated treatments, with both water qualities, showed lower leaching losses to those in non-irrigated treatment. It was found that the

application of ETS via IGS at 0.20 m, resulted in low N₂O emission when compared to topdressing, with urea. Thus, it was concluded that the application of ETS for water and nutrients supply, resulted in decrease at N losses by leaching of NO₃⁻ and volatilization of N₂O, compared to traditional cultivation, non-irrigated .

KEYWORDS: Fertigation; Nitrogen loss; Localized irrigation; Nitrate; Nitrous oxide.

INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar é altamente exigente em nitrogênio, tendo uma taxa de extração entre 100 a 120 kg ha⁻¹, entretanto, a eficiência de uso do N na agricultura é baixa devido às altas perdas que ocorrem principalmente quando aplicado em cobertura. A perda do nitrogênio na agricultura ocorre basicamente por dois processos, a volatilização e a lixiviação.

O uso do efluente de esgoto tratado (EET) na agricultura é prática adequada para cultivos, pois é forma de hidratação das plantas, reuso da água, evitando o seu lançamento nos corpos hídricos e conseqüentemente o risco de eutrofização (FONSECA et al. 2005), e prática de fertilização do solo (MEDEIROS et al. 2005; LEAL et al., 2009b), com destaque para os fornecimentos de N. O N do EET é composto predominantemente pela forma mineral (NH₄⁺ e NO₃⁻), e no solo o NH₄⁺ é rapidamente transformado em NO₃⁻ (FONSECA et al., 2005).

Dentre as diversas técnicas de disposição de águas residuária na agricultura, destaca-se a irrigação por gotejamento subsuperficial (IGS), pois o efluente é aplicado na zona radicular das culturas, evitando o contato direto com a parte aérea dos vegetais e o risco de deriva, além de ser operacionalmente mais segura por reduzir possíveis contatos com os operadores do sistema de irrigação (LAMM e TROOIJEN, 2003; LAMM et al., 2007). A IGS apresenta alta uniformidade de aplicação de água (GIL et al., 2008) reduzindo a percolação do nitrato.

Devido às características da IGS, o uso da fertirrigação é favorecido, obtendo maior eficiência na utilização dos nutrientes, além da aplicação parcelada dos mesmos conforme a necessidade nutricional da cultura. A fertirrigação, quando comparada à adubação convencional, proporciona otimização no uso dos fertilizantes devido à ponderação da adubação, resultando em reduções na perda de fertilizantes.

Neste contexto, o objetivo do estudo é avaliar a perda de nitrogênio por lixiviação do nitrato e volatilização óxido nitroso no cultivo da cana-de-açúcar irrigada via IGS com efluente de esgoto tratado e água de reservatório superficial, com e sem fertirrigação complementar.

MATERIAL E MÉTODOS:

O experimento foi realizado no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI/ UNICAMP), Campinas, SP. O clima da região é do tipo Cwa/Cfa, segundo a classificação de Köppen. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico e a variedade de cana-de-açúcar cultivada foi a RB867515. A cana-de-açúcar foi plantada em maio de 2011, sendo que o segundo ciclo de cultivo teve início em setembro de 2012.

Empregou-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com 5 tratamentos e 5 repetições, totalizando 25 parcelas. Os tratamentos foram: T1NI – Tratamento sem irrigação, com adubação manual; T2EF – Tratamento irrigado com esgoto, com adubação complementar via fertirrigação; T3ENf - Tratamento irrigado com esgoto, sem adubação; T4AF – Tratamento irrigado com água de reservatório superficial, com adubação complementar via fertirrigação; T5ANf – Tratamento irrigado com água de reservatório superficial, sem adubação.

A adubação de NPK foi realizada conforme a recomendação de ROSSETO et al. (2008), tendo como adubação de base 120 kg ha⁻¹ de N. No T1NI, a adubação foi realizada

manualmente em única aplicação e a fonte de N foi a ureia. Nos tratamentos fertirrigados, tanto com água de reservatório quanto com água residuária, os fertilizantes foram aplicados complementando os nutrientes já fornecidos pelas águas. A aplicação dos fertilizantes minerais ocorreu de acordo com a marcha de absorção de nutrientes da cana-de-açúcar (HAAG et al., 1987), e foram aplicados o nitrato de cálcio e o MAP como fonte de N.

No experimento, foram utilizadas duas qualidades de água, sendo uma proveniente de um reservatório superficial próximo da área experimental e a outra água residuária proveniente do esgoto de diversas edificações da FEAGRI. Antes da aplicação, o efluente foi tratado em reator anaeróbico e tanque de macrófita. Para caracterização e avaliação do aporte nutricional, amostras de EDT e ARS foram coletadas mensalmente, logo após o filtro de areia seguindo a recomendação padronizada da APHA, (1999). Os valores médios dos parâmetros químicos e físicos obtidos em cinco análises no período de dezembro de 2012 a junho de 2013 estão ilustrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise química do efluente de esgoto tratado (EET) e da água de reservatório superficial (ARS) após o sistema de filtragem.

Elementos	N*	K	S	Na	DQO	H ₂ PO ₄ - P	RAS	CE
mg L ⁻¹								
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 NO₃⁻ < 0.3 mg L⁻¹, DQO – demanda química por oxigênio, RAS - Razão de adsorção de sódio; CE – Condutividade elétrica.

Os tubos gotejadores foram instalados a 0,2 m e entre a linha da menor fileira (0,4 m). O tubo gotejador utilizado foi o Dripnet PC AS (Netafin®). O manejo da irrigação foi realizado pela técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR). A irrigação foi realizada duas vezes por semana e a fertirrigação uma vez; mesmo não havendo a necessidade de reposição hídrica, foi realizada a fertirrigação.

O óxido nitroso (N-N₂O) foi coletado na superfície do solo, utilizando o método da câmara fechada (BALL et al., 1999; JANTALIA et al., 2008). A câmara utilizada apresenta 20 cm de altura e 27 cm de diâmetro, confeccionada de um tubo *defofo* e tampa de PVC. Os gases foram coletados com o auxílio de uma seringa plástica de 60 mL e posteriormente inseridos em frascos de vidro de 20 mL. A amostragem do N-N₂O foi realizada após o fechamento da câmara, nos tempos 1; 10; 20 e 30 min (CARMO et al., 2012). A determinação da concentração do N-N₂O foi realizada através do cromatógrafo gasoso (Schimadzu GC-2014).

Para o cálculo da taxa de emissão, o volume molar dos gases (V_m) foi corrigido para a temperatura ambiente e pressão atmosférica determinados no momento da coleta. Determinou o fluxo do N₂O por meio da equação 1, conforme apresentada por JANTALIA et al. (2008).

$$f = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{A} \times \frac{m}{V_m} \quad (1)$$

Onde $\Delta C/\Delta t$ é a mudança na concentração dos gases na câmara durante o tempo de incubação (Δt); V e A são respectivamente o volume da câmara e a área de solo coberta pela câmara, m é o peso molar de cada gás.

Durante o cultivo da cana-de-açúcar foram realizadas em média duas coletas de N₂O por semana a cada 15 dias, totalizando quatro coletas por mês, com exceção do mês de janeiro, no qual foi aplicado adubo em cobertura no tratamento não irrigado, sendo coletadas seis amostras nas três semanas após a aplicação. Na semana de coleta, as determinações do fluxo de N₂O (FN₂O) foram realizadas no período da manhã, sempre um dia após a irrigação e

outro após a fertirrigação. O experimento teve esta frequência de aquisição devido à constante aplicação de nitrogênio no solo pelo EET e fertirrigação nitrogenada.

A determinação do nitrato lixiviado foi realizada conforme recomendado por Herath et al. (2012), utilizando extratores de solução do solo na camada de 0,80 a 1,00 m de profundidade. No estudo, foi considerada profundidade de 0,60 m como efetiva do sistema radicular; desta forma, o nitrato mensurado na camada de 0,80-1,00 apresenta-se fora da região de exploração do sistema radicular, considerado perdido em profundidade. A determinação da concentração do nitrato nas amostras de solução do solo foi realizada no Laboratório de Saneamento da FEAGRI, utilizando a técnica da espectrofotometria. A coleta do nitrato foi realizada a cada dois meses e sempre após precipitação superior a 20 mm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores mensais da precipitação (Pr), evapotranspiração potencial (ETo), temperatura média do ar (Ta) coletados na estação meteorológica da CEPAGRI e a lâmina de água drenada abaixo da zona radicular, ou seja a drenagem profunda (DP), estimada por meio do balanço hídrico do solo, estão ilustrados na Figura 1. Houve altas precipitações no período de dezembro de 2012 a março de 2013, sendo que, neste último mês, ocorreu uma precipitação total mensal atípica para a região (380 mm), acarretando em altos volumes drenados. Já nos demais meses, com exceção de junho de 2013, a ETo total mensal foi superior a precipitação, indicando a necessidade da irrigação durante o ciclo agrícola.

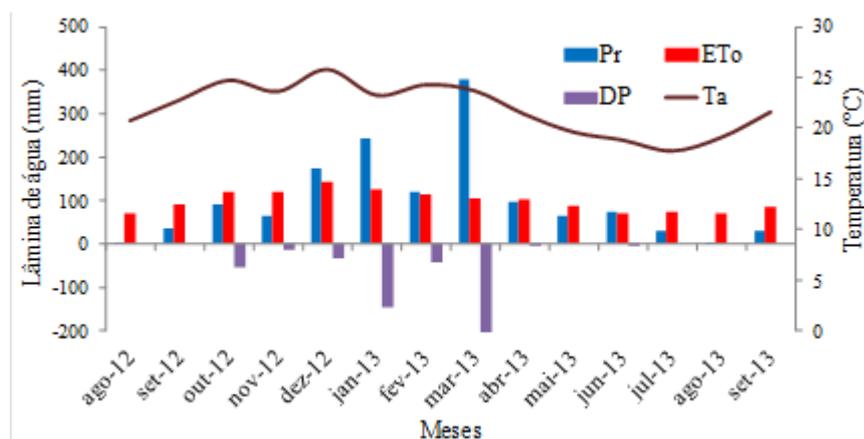


Figura 1-Valores da lâmina de água precipitada (Pr), evapotranspiração potencial (ETo), drenagem profunda (DP) e temperatura média do ar (Ta), durante o ciclo de cultivo da primeira cana-soca.

O volume irrigado mensalmente, determinado por meio da umidade do solo, está ilustrado na Figura 2A. Verifica-se que, nos meses novembro de 2012, abril e maio de 2013, as irrigações foram mais intensas; já no período de janeiro a março de 2013, as irrigações foram mínimas, sendo registrados volumes de irrigação abaixo de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ nos tratamentos não fertirrigados. Este volume equivale a uma lâmina de aproximadamente 17 mm, visto que apenas 29,5% da área foram irrigadas. Nos tratamentos T2EF e T4AF os valores foram superiores devido à fertirrigação, pois mesmo não havendo necessidade de reposição hídrica, a fertirrigação era realizada, objetivando a disponibilidade nutricional. Ao final do ciclo foram aplicados 1644; 1160; 1375 e 1126 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ nos tratamentos T2EF, T3ENf, T4AF e T5ANf, respectivamente.

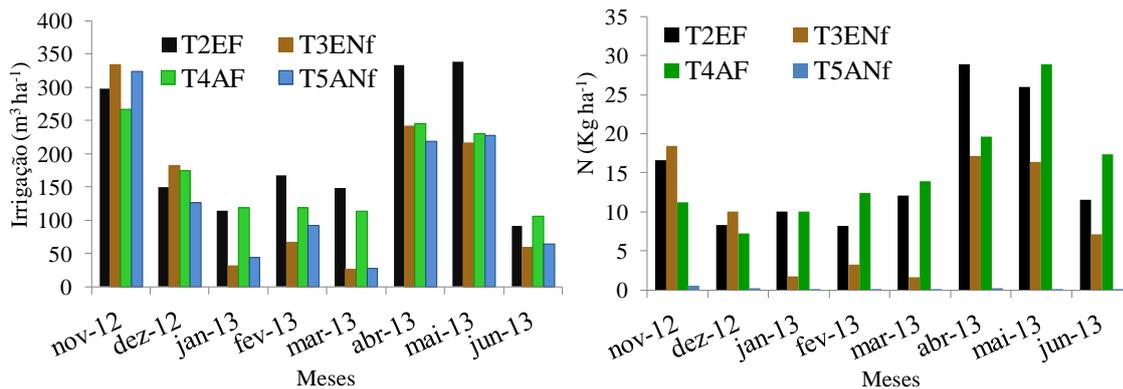


Figura 2 - Volume de água irrigado (A) e nitrogênio total aplicado (B), mensalmente, nos tratamentos: irrigado com EET com fertirrigação (T2EF), irrigado com EET sem complementação nutricional (T3ENf), irrigado com ARS e fertirrigação complementar (T4AF) e irrigado com ARS sem complementação nutricional (T5ANf).

A dinâmica do nitrato abaixo da zona radicular da cana-de-açúcar, profundidade de 0.90 m, mostrou comportamento diferenciado entre os tratamentos não irrigado, fertirrigado e não fertirrigado, conforme ilustrado na Figura 3. No tratamento T1NI, após a adubação, (janeiro de 2013) o teor de nitrato elevou-se rapidamente, atingindo o valor de 3.5 mg L⁻¹. Neste período, foram verificadas as maiores lâminas de água drenadas (Figura 2), acarretando em perdas mais acentuadas de NO₃⁻. Durante o ciclo, a variação no NO₃⁻ na camada de 0,90 m foi baixa nos tratamentos sem fertirrigação, principalmente no T5ANf, o qual apresentou valores máximo e mínimo de 1,5 e 0,9 mg L⁻¹ ao longo do ciclo (Figura 3), concentrações bem inferiores às observadas nos demais tratamentos. A baixa variação é resultado da não aplicação de N, que foi praticamente nula, se comparada aos tratamentos com fertirrigação (Figura 3).

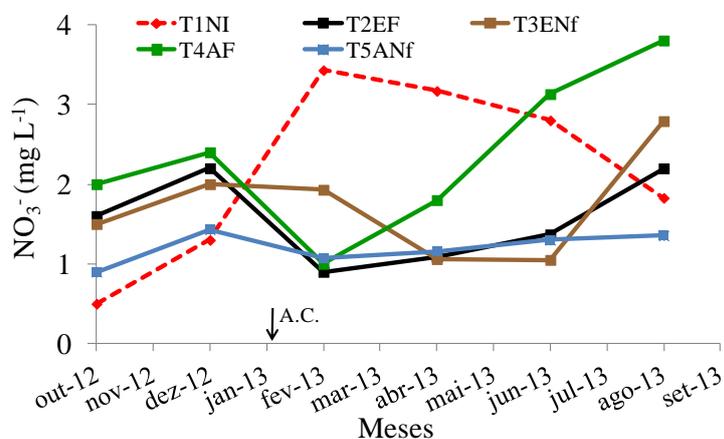


Figura 3 - Lixiviação do nitrato (NO₃⁻) na profundidade de 0.9 m, nos tratamentos: não irrigado com adubação de cobertura (T1NI), irrigado com EET e fertirrigação complementar (T2EF), irrigado com EET sem complementação nutricional (T3ENf), irrigado com ARS e fertirrigação complementar (T4AF) e irrigado com ARS sem complementação nutricional (T5ANf). AC, Adubação de cobertura.

A perda de nitrato por lixiviação profunda ocorreu com maior intensidade no tratamento não irrigado, com uma perda total de aproximadamente 11.5 Kg ha⁻¹; este valor representa 9,6% do N total aplicado (Tabela 2). A porcentagem de nitrato perdida no T1NI, é próxima dos valores citados por Chapagain et al. (2006) e Aldaya e Hoekstra (2010), os quais indicam uma perda média de 10% de todo o N aplicado em cobertura.

Tabela 2 - Perdas de nitrato por lixiviação, óxido nitroso por volatilização e perda total de N no cultivo de cana-de-açúcar.

Tratamentos	NO ₃ ⁻ Lixiviado	N ₂ O volatilizado	N perdido
	m ³ ha ⁻¹		
T1NI	11.50 a	4.86 a	16,36 a
T2EF	2.13 b	3.08 b	5,21 bc
T3ENf	2.09 b	2.29 bc	4,38 bc
T4AF	5.31 ab	1,70 cd	7.01 b
T5ANf	1.82 b	1,11 d	2,93 c
Teste de F	9.02*	41.5*	31.8*
C.V.	52.3	17.7	22.8

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. C.V., coeficiente de variação.

A lixiviação de nitrato observada no T1NI é considerada alta segundo Wu et al. (1997), o qual considera alta as perdas superiores a 4,48 kg ha⁻¹. Ao analisar as perdas de NO₃⁻ por lixiviação em diferentes localidades no Estado de Nebraska, EUA, Elrashidi et al. (2005) verificaram que em áreas agricultáveis as taxas de lixiviação do NO₃⁻ foram da ordem de 1.06 a 8.36 Kg ha⁻¹ ano, e relatam a textura do solo e o volume precipitado como principais fatores edafoclimáticos de influenciam na lixiviação do nitrato. As perdas de NO₃⁻ por lixiviação no T4AF foi de 5,31 Kg ha⁻¹ (Tabela 2), representando uma perda de 4,5% do N aplicado via fertirrigação; esses valores são consideradas altas segundo Wu et al. (1997). Mesmo sendo verificada uma diferença de 6,19 Kg ha⁻¹ de NO₃⁻ lixiviado entre os tratamentos T4AF e o T1NI, não foi evidenciado diferenças significativas entre os tratamentos (p<0.05), indicando que a fertirrigação mineral ocasiona perdas similares a adubação de cobertura.

A baixa perda de NO₃⁻ nos tratamentos irrigados com efluente certamente está relacionado à fonte de N, que apresentou baixos valores de NO₃⁻ (<0,5 mg L⁻¹). Segundo Hook e Kardos (1978), solos irrigados com EET apresentam alta taxa de lixiviação quando o N predominante no efluente é o NO₃⁻, entretanto a lixiviação se torna demasiadamente baixa em solos irrigados com EET com o NH₄⁺ sendo a forma majoritária do N total do efluente.

A dinâmica de volatilização do nitrogênio, Figura 4, revela que o tratamento T1NI apresentou comportamento similar aos resultados obtidos por Allen et al. (2010); Carmo et al. (2013) com alto incremento do fluxo 15 dias após a adubação de cobertura, onde o N-N₂O foi de 1.1 mg m⁻² d⁻¹ em dezembro para 56.6 mg m⁻² d⁻¹ em fevereiro.

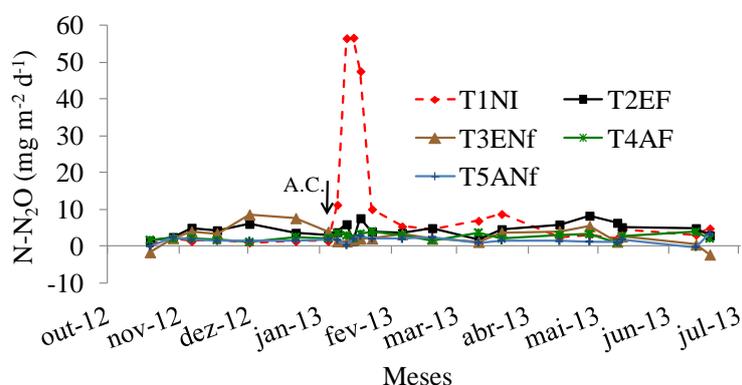


Figura 4 - Fluxo de óxido nitroso (FN₂O) nos tratamentos: não irrigado com adubação de cobertura (AC) (T1NI); irrigado com EET e fertirrigação (T2EF), irrigado com EET sem complementação nutricional (T3ENf), irrigado com ARS e fertirrigação (T4AF) e irrigado com ARS sem complementação nutricional (T5ANf).

No estudo desenvolvido por Signor et al. (2013) e realizado no ciclo da segunda cana-soca em Piracicaba-SP, os autores constataram que a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de ureia ocasionou fluxo máximo próximo a 60,67 mg N-N₂O m⁻² d⁻¹ em 20 dias após a aplicação de fertilizantes. Carmo et al. (2013) aplicando 60 kg ha⁻¹ de ureia no ciclo da cana-soca, constataram fluxo máximo na linha de plantio próximo a 30 mg N-N₂O m⁻² d⁻¹, após 15 dias da adubação de cobertura. Tais magnitudes e tempo de máxima emissão após a adubação foram semelhantes às verificadas neste estudo para o T1NI.

No tratamento T2EF, o fluxo de N-N₂O oscilou entre 1.4 mg m⁻² d⁻¹ e 8.3 mg m⁻² d⁻¹ (Figura 4), e obteve elevados valores em abril e maio, período de alto volume irrigado e consequentemente fornecimento de N (Figuras 2A e B). Os tratamentos irrigados com ARS, da mesma forma, possuem similaridades, com a maior divergência entre o T4AF e T5ANf ocorrendo em janeiro de 2013, com valor de 2.7 mg m⁻² d⁻¹; o fluxo médio destes tratamentos ao longo do ciclo foram de 2,5 e 1,6 mg m⁻² d⁻¹, respectivamente para o T4AF e T5ANf.

A emissão total de N₂O no T1NI foi de 4,86 kg ha⁻¹ (Tabela 3) e foi significativamente superior aos valores observados nos demais tratamentos. Nos tratamentos irrigados com EET, a emissão total foi de 3,08 e 2,29 kg ha⁻¹ para o T2EF e T3ENf, respectivamente, não diferindo entre si (p>0.05), porém, o T2EF diferiu do T5ANf. Os resultados indicam que a aplicação ponderada na profundidade de 0,20 m de EET via IGS, reduz as perdas de N₂O em comparação à adubação de cobertura. A redução ocorreu mesmo aplicando quantidade equivalente de N (próxima a 120 kg ha⁻¹), nas condições de capacidade de campo, e com incorporação de matéria orgânica (DQO de 45,6 mg L⁻¹, Tabela 1), condições que favorecem o processo de desnitrificação pelas bactérias heterotróficas (Feigin et al., 1991; Master et al., 2004; Barnard et al., 2005). O tratamento T5ANf apresentou o menor valor de FN₂O ao longo do ciclo, com o valor total de 1,1 kg ha⁻¹, não diferindo apenas do tratamento T4AF, o qual apresentou emissão total de 1,7 kg ha⁻¹ (Tabela 2).

A perda total de N, mensurado via lixiviação do NO₃⁻ e volatilização do N-N₂O, ocorreu de forma acentuada no cultivo não irrigado, o qual diferiu significativamente dos demais tratamentos, e obteve uma perda total de 13,36 kg ha⁻¹. Este resultado sugere que o uso da IGS ocasiona melhorias no ambiente produtivo, reduzindo as perdas de fertilizante nitrogenado e os impactos ambientais ocasionados pelo N, quando sai do sistema produtivo.

Posteriormente ao tratamento T1NI, o manejo com maior impacto na perda de N, foi o T4EF, que diferiu do T5ANf. Conforme observado, este cultivo apresenta alta perda de NO₃⁻ por lixiviação, sendo este efeito responsável por 76% do N perdido no TAF (Tabela 2). Os cultivos irrigados com EDT apresentaram valores intermediários, com perdas de 5,21 e 4,31 kg ha⁻¹. A participação das duas formas de N no total perdido, nestes tratamentos, foi próxima, com uma ligeira superioridade do N-N₂O.

CONCLUSÃO

Os resultados sugerem que o uso da fertirrigação por gotejamento subsuperficial da cana-de-açúcar reduz a perda de N em comparação ao cultivo não irrigado com adubação de cobertura, pois favorece o depósito de carbono proveniente da cana-de-açúcar.

O tratamento irrigado com água e complementado nutricionalmente com fertilizantes minerais via fertirrigação apresenta maior impacto na lixiviação do NO₃⁻ em relação ao tratamento irrigado com esgoto com complementação do N.

O óxido nitroso é emitido em maiores quantidades no cultivo não irrigado, com alta taxa de emissão logo após a adubação de cobertura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ALDAYA, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. The water needle for Italians to eat and pizza. *Agriculture Systems*, v.103, p.351-360, 2010.

- ALLEN, D.E.; KINGSTON, G.; RENNENBERG, H.; DALAL, R.C.; SCHMIDT, S. Effect of nitrogen fertilizer management and waterlogging on nitrous oxide emission from subtropical sugarcane soils. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.136, p.209-217, 2010.
- 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.
- BARNARD, R.; LEADLEY, P.W.; HUNGATE, B.A. Global change, nitrification, and denitrification: A review. **Global Biogeochemical Cycles**, v.19, p.1-13, 2005.
- BALL, BC.; SCOTT, A.; PARKER, J.P. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage compaction and soil quality in Scotland. **Soil & Tillage Research**, v.53, p.29-39, 1999.
- CARMO, J.B.; FILOSO, S.; ZOTELLI, L.C.; 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.
- CHAPAGAIN A.K, HOEKSTRA A.Y, SAVENIJE H.H.G, GAUTAM R. The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. **Ecological Economics**, v.60, n.1, p.186-203. 2006
- ELRASHIDI, M.A.; MAYS, M.D.; FARES, A.; SEYBOLD, C.A.; HARDER, J. L.; PEASLEE, S. D.; Van NESTE, P. Loss of nitrate-nitrogen by runoff and leaching for agricultural watersheds. **Soil Science**, v.170, n.12, p.969-984, 2005.
- FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection**. Berlin: Springer, 1991. 224p.
- 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.
- GIL, M.; RODRIGUEZ-SINOBAS, L.; JUANA, L.; SANCHEZ, R.; LOSADA, A. Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water-application uniformity. **Irrigation Science**, v.26, p.451-458, 2008.
- HAAG, H. P.; DECHEN, A. R.; CARMELLO, Q. A. C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar, Cultivo e Utilização**. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p. 88-162. 1987.
- HERATH, I.; CLOTHIER, B.; GREEN, S.; HORNE, D.; SINGH, R.; MARSH, A.; BUCHANAN, A.; BURGESS, R. Measuring the grey-water footprint of potato production. In: **2nd New Zealand Life Cycle Assessment**, p.1-6, 2012.
- HOOK, J.E.; KARDOS, L.T. Nitrate leaching during long-term spray irrigation for treatment of secondary sewage effluent on woodland sites. **J. Environ. Qual.**, v.7, p.30-34, 1978.
- JANTALIA, C.P.; SANTOS, H.P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the south of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.82, p.161-173, 2008.
- LAMM, F.R.; AYARS, J.E. NAKAYAMA, F.S. **Microirrigation for crop production: design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier, 2007. 618p.
- LAMM, F.R.; TROOIJEN, T.P. Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas. **Irrigation Science**, v.22, p.195-200, 2007.
- LEAL, R. M. P.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J.; PIEDEDE, S. M. S. Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, n.2, p. 242-249, 2009a.
- MASTER, Y.; LAUGHLIN, R.J.; STEVENS, R.J.; SHAVIV, A. Nitrite formation and nitrous oxide emissions as affected by reclaimed effluent application. **J. Environ. Qual.**, v.33, p.852-860, 2004.
- MEDEIROS, S.S.; SORES, A.A.; PEREIRA, P.A.; NEVES, J.C.L; MATOS, A.T.; SOUZA, J.A.A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, v.9, n.4, p.603-612, 2005.
- 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.

SIGNOR, D.; CERRI, C.E.P.; CONANT, R. N₂O emissions due to nitrogen fertilizer applications in two regions of sugarcane cultivation in Brazil. **Environ. Res. Lett.**, v.8, p.1-9, 2013.

WU, J.J.; BERNARDO, D.; MAPP, J.H.P.; GELETA, S.; TEAGUE, M.L.; WATKI-IS, K.B.; SABBAGH, G.J.; ELLIOTT, R.L.; STONE, J.F. An evaluation of nitrogen runoff and leaching potential in the High Plains. **J. Soil Water Cons.**, v.52, p.73-80. 1997.