

# Fluxo de gases (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>) em área de cana-de-açúcar sem queima irrigada com efluente de esgoto tratado

Bruno Simionato Castro<sup>(1)</sup>, Alessandra Monteiro de Paula<sup>(2)</sup>, Sandra Furlan Nogueira<sup>(3)</sup>, Tamara Maria Gomes<sup>(2)</sup>, Magnus Dall'Igna Deon<sup>(4)</sup>, Bruno Fernando Faria Pereira<sup>(4)</sup>, Célia Regina Montes<sup>(5)</sup>, Adolpho José Melfi<sup>(6)</sup>

**RESUMO** - O reuso agrícola de efluentes de esgoto tratado (EET) é uma prática de interesse ambiental e econômico, contudo, seu impacto em solos brasileiros ainda é pouco conhecido. Dentre as culturas com características favoráveis para o reuso agrícola, a cana-de-açúcar se destaca, por possuir elevado potencial para o cultivo irrigado e pela crescente expansão, incentivada pela produção de biocombustíveis. Com o objetivo de avaliar o efeito da irrigação da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) com efluente de esgoto tratado sobre a emissão de gases (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>) relacionados com o efeito estufa, foi conduzido um experimento em Piracicaba, SP, em área próxima a uma à estação de tratamento de esgoto (ETE). A avaliação das emissões foi conduzida 4 meses após a rebrota, referente à segunda soca da cana-de-açúcar. Não foram observados efeitos do manejo da irrigação com EET nos fluxos de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O a partir do solo. A irrigação com EET promoveu um aumento linear nas emissões de CO<sub>2</sub> nas lâminas com 100% da Evapotranspiração da cultura (Etc) e de 200% da Etc, elevaram as emissões de CO<sub>2</sub> em 33 e 146% pelo solo cultivado com cana de açúcar.

**Palavras-Chave:** reuso de água, solos tropicais, gases do efeito estufa, cana-de-açúcar

## Introdução

A produção de cana-de-açúcar tem se expandido nos últimos anos, estimulada principalmente pelo incentivo ao consumo de combustíveis menos poluentes como o álcool e, conseqüentemente, redução da poluição atmosférica.

Os gases traços (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>) também são conhecidos como gases do efeito estufa. O efeito estufa é um fenômeno que possibilita a manutenção da temperatura na Terra, no qual os gases impedem a saída de parte da energia solar que atinge a superfície da terra. O aumento da concentração dos gases do

efeito estufa, principalmente em função das atividades antrópicas como a utilização de combustíveis fósseis e queimadas, tem acarretado em alterações no clima, com grandes conseqüências para a produção agrícola e para as atividades humanas em geral.

No sistema de produção, o manejo da colheita da cana sem queima, também denominada cana crua, tem sido adotado em várias regiões produtoras, visando as reduções das emissões de gases do efeito estufa, através da eliminação das queimadas e do acréscimo de carbono ao solo pela manutenção da palhada sobre o solo [1].

Considerando que grande parte da área de cultivo de cana-de-açúcar é de sequeiro, o manejo irrigado representa uma prática promissora, particularmente no estado de São Paulo, onde se concentra a maior área plantada com a cultura [2]. O uso de efluente de esgoto tratado (EET) na irrigação de plantas, apesar de ser uma prática antiga e comum em diversos países [3], é recente no Brasil e representa uma alternativa de recursos hídricos e também de nutrientes, com grande potencial de uso em áreas de cana-de-açúcar [4].

Além de fornecer água para o sistema solo-planta, a irrigação das plantas com efluente implica no aporte de sais minerais e compostos orgânicos, resultando em modificações nas condições ambientais [5]. Essas modificações no agrossistema afetam, entre outros fatores, as emissões de gases (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>) relacionados com o aquecimento da atmosfera, sendo este efeito ainda desconhecido nas condições tropicais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da irrigação da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) variedade SP 903414 com efluente de esgoto tratado por um período de 4 meses sobre a emissão de gases (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>).

## Material e Métodos

### A. Local e delineamento experimental

O experimento foi conduzido no município de Piracicaba (SP), em área canavieira pertencente ao grupo COSAN, ao

<sup>(1)</sup> Engenheiro Florestal, integrante do grupo de pesquisa do Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (NUPEGEL), Universidade de São Paulo (USP), P.O. Box 09. Bolsista do CNPq. E-mail: brunocastro@florestal.eng.br

<sup>(2)</sup> Pós-Doutoranda do Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (NUPEGEL), Universidade de São Paulo (USP), P.O. Box 09, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil, tel. +55 19 34294057.

<sup>(3)</sup> Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite - CNPM. Av. Soldado Passarinho, 303, 13070-115, Campinas, SP, Brasil.

<sup>(4)</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), USP, P.O. Box 09, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil.

<sup>(5)</sup> Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), USP, P.O. Box 09, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil, tel. +55 19 34294171.

<sup>(6)</sup> Professora Doutora do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), USP, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil.

lado da estação de tratamento de esgoto (ETE) operada pelo SEMAE (Serviço municipal de água e esgoto), sob clima sub-tropical úmido com temperaturas do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C.

O solo predominante foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico. A variedade da cana-de-açúcar plantada foi SP 903414, que se destaca pelo porte ereto, por não florescer e pela alta produção, com recomendação de colheita do meio para o final da safra. O período de irrigação com efluente de ETE foi de julho/2008 a agosto/2008, referente a segunda soca. O sistema de irrigação adotado foi do tipo gotejamento subsuperficial instalado ao lado de cada linha de plantio, enterrado à profundidade de 20cm. Os gotejadores estavam espaçados a cada 0,50 cm. A lâmina de irrigação aplicada no período em estudo foi determinada com base no balanço hídrico considerando a evapotranspiração da cultura (Etc) e a precipitação pluvial.

A ETE é composta por lagoas de estabilização do tipo Australiano com lagoa anaeróbia, lagoa facultativa primária e lagoa facultativa secundária. Atualmente, atende aproximadamente 7000 habitantes e recebe também lodo de caminhões limpa-fossa e chorume de aterro sanitário. A vazão média da ETE medida no período desta pesquisa foi de 10,16 L s<sup>-1</sup>. A captação do efluente da ETE foi realizada a partir da saída da lagoa facultativa secundária, alimentando um sistema de filtro de areia pressurizado, como tratamento terciário da ETE uma vez que a concentração média de sólidos em suspensão (SS) do efluente desta ETE é 110,77±36,89 mg L<sup>-1</sup> de SS.

Os tratamentos constituíram-se de um controle sem irrigação (SI), e outras três áreas irrigadas com lâminas correspondentes a 50, 100 e 200% da ETc, dispostos em um delineamento em blocos com quatro repetições. O tamanho das parcelas foi de 10 x 30m, perfazendo uma área total de 300 m<sup>2</sup>, com seis linhas de plantio espaçadas a 1,4 m.

### B. Amostragem e análises

Para a determinação dos fluxos de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O utilizou-se o método da câmara fechada [6]. As amostras gasosas para a determinação das concentrações dos gases foram coletadas com seringas de 60 mL após o fechamento da câmara (t=0) e em três tempos adicionais: 5, 10 e 20 minutos. As amostras contidas nas seringas foram transferidas para frascos de vidro selados (rolhas de borracha e anel de alumínio), que haviam sido evacuadas no campo através de bomba manual de vácuo. Antes do fechamento da câmara e após a sua abertura realizou-se a determinação da temperatura interna da câmara através de termômetros analógicos, colocados sobre o solo. A determinação da concentração dos gases se deu por cromatografia gasosa (Shimadzu, GC-14A), equipado com detector <sup>63</sup>Ni de captura de elétrons (ECD) e um detector de ionização por chama (FID). Os fluxos foram obtidos

através da inclinação da curva após 20 minutos.

Os dados obtidos foram submetidos à análise GLM (General Linear Model), no delineamento estatístico de blocos ao acaso, considerados como fatores de variação os tratamentos (SI, 50, 100 e 200). Para as variáveis afetadas pelos tratamentos, foi realizada a comparação das médias, aplicando-se o teste t de Student (LSD) (5%).

## Resultados

No período de 90 dias de rebrota da segunda soca da cana-de-açúcar, a precipitação pluviométrica foi de 292 mm e as lâminas de irrigação com efluente de esgoto tratado variaram de 102 a 410 mm, para os tratamentos 100 e 200% da ETc, respectivamente (Figura 1).

Após esse período de crescimento da segunda soca da cana-de-açúcar e do manejo da irrigação com efluente, observou-se que apenas a emissão de CO<sub>2</sub> foi influenciada pelos tratamentos.

No caso dos fluxos de CH<sub>4</sub>, observou-se absorção de metano para todos os tratamentos, ou seja, um consumo de CH<sub>4</sub> por bactérias metanotróficas, com maior oxidação no tratamento 200% ETc, embora não tenha sido constatada diferença significativa entre os tratamentos (Figura 2a).

Considerando a média de todos os tratamentos, o consumo médio de CH<sub>4</sub> foi de 38,7 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. De forma semelhante, o fluxo de N<sub>2</sub>O também não foi influenciado pelos tratamentos, sendo verificada uma emissão média de 0,53 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (Figura 2b).

A irrigação com 200% da ETc proporcionou um aumento de aproximadamente 150% na emissão de CO<sub>2</sub> (Figura 2c), que foi de 40 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>; comparada com a área de cana não irrigada, na qual as emissões foram da ordem de 110 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>.

## Discussão

A irrigação de culturas agrícolas com efluentes possibilita dois grandes benefícios: (i) a reutilização dos nutrientes contidos no efluente pelas culturas; (ii) a redução da descarga de efluentes nos corpos d'água. Dessa forma, a aplicação de lâminas excedentes de irrigação com efluente, como o tratamento com 200% da ETc, permite avaliar o máximo potencial da cultura, do solo, do lençol freático e da atmosfera para receber esses efluentes, sem maiores conseqüências, com a principal finalidade de preservar os recursos hídricos.

Embora não tenha sido observada diferença significativa entre as médias dos fluxos de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, nos tratamentos avaliados, é possível observar que no tratamento com 200% da ETc, a emissão de CH<sub>4</sub> apresentou o maior desvio (-44,23 ± 37,04 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e de N<sub>2</sub>O a maior média (2,94 ± 1,96 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), sugerindo que a irrigação acima do recomendado e, as entradas de demais elementos com a irrigação com EET modificam a dinâmica do carbono e do nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera.

Experimentos de longo prazo em Rothamsted (Inglaterra) classificaram o potencial de oxidação de CH<sub>4</sub> do solo na seguinte ordem: floresta > pastos > solos

cultivados [7], demonstrando a relação entre frequência de intervenções químicas e físicas e a capacidade de oxidação de CH<sub>4</sub> pelo solo. Para o manejo conduzido nesse trabalho, de baixa movimentação do solo, pode-se inferir que a área apresenta um potencial intermediário de oxidação de CH<sub>4</sub> pelo solo.

Conforme o modelo “hole-in-the-pipe” proposto por Firestone e Davidson [8], o N<sub>2</sub>O pode ser produzido tanto a partir da redução do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> como também quando NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é oxidado a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. De acordo com o modelo, existem três principais fatores que afetam a taxa de produção de N<sub>2</sub>O no solo e a sua emissão, (1) a disponibilidade de substrato (amônio e nitrato), a qual afeta a taxa de transformação do N através do ciclo do N e, portanto a quantidade de óxido nitroso formado; (2) a eficiência de produção e consumo de N<sub>2</sub>O durante os processos de ciclagem de N. Sendo por sua vez controlada por taxas líquidas de mineralização e nitrificação, as quais mudam com as condições ambientais; (3) a eficiência da difusão de N<sub>2</sub>O do solo para a atmosfera, que é controlada pela quantidade de água no solo (espaço de poros preenchidos por água e pela textura do solo). Em altos valores de WFPS, entre 60% e 90%, a aeração do solo torna-se limitada, as atividades de desnitrificação tornam-se máxima e o N<sub>2</sub>O torna-se o gás mais abundante emitido [9].

O comportamento das emissões de CO<sub>2</sub> pode estar relacionado com o estímulo promovido pela disponibilidade de água e nutrientes, fornecidos com a irrigação com EET sobre o crescimento vegetativo da planta, e conseqüentemente, uma maior produção de raízes. Este fato, somado ao favorecimento do metabolismo microbiano pela umidade, pode auxiliar na compreensão do resultado observado para as emissões de CO<sub>2</sub>.

Em trabalho comparando o efeito do manejo com queima e sem queima de cana-de-açúcar cultivada em Latossolo, no município de Guariba-SP, foram constatadas as maiores emissões de CO<sub>2</sub>, da ordem de 550 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, em área de cana com queima [10], e na área de cana sem queima a emissão foi de 80 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, próxima do valor observado para a maior lâmina de irrigação com efluente (120 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Segundo os autores, as maiores emissões estão diretamente relacionadas com o aumento da temperatura e inversamente relacionadas com a umidade do solo, no local com manejo de cana queimada, e não no sistema de cana crua, onde a presença de palhada certamente impede a ação direta da radiação solar e o escoamento

de chuvas.

## Conclusões

Não foram observados efeitos do manejo da irrigação com EET nos fluxos de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O a partir do solo. A irrigação com EET promoveu um aumento linear nas emissões de CO<sub>2</sub> e, as lâminas com 100% da ETc e excessiva em 100% (lâmina de 200% da ETc) elevaram as emissões de CO<sub>2</sub> em 33 e 146% pelo solo cultivado com cana de açúcar.

## Agradecimentos

Capex, CNPq, Fapesp e ao Sema.

## Referências

- [1] São Paulo (Estado). Leis, decretos, etc. Decreto nº 47.700 de 11 de março de 2003. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 12 mar. 2003, Seção I, v. 113, n. 46, p. 1-2. Regulamenta a Lei nº 11.241 de 19 de setembro de 2002 que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas.
- [2] Cana-de-Açúcar. Agriannual 2009. Ed. FNP, p. 235.
- [3] Ramirez-Fuentes, E., Lucho-constantino, C., Escamilla-Silva, E., Dendooven, L. 2002. Characteristics and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. *Bioresour Technol* 85:79-187
- [4] Leal, R.M.P. 2007. Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado em propriedades químicas de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. Dissertação de mestrado. USP/ESALQ, 109p.
- [5] Da Fonseca AF, Herpin U, Paula AM, Victoria RL, Melfi AJ. 2007. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Sci Agric* 64:194-209
- [6] Jacinthe, P.-A., Dick, W. A. 1997. Soil management and nitrous oxide emissions from cultivated fields in Southern Ohio. *Soil Till Res* 41:221-235
- [7] Willison, T. W., Webster, C. P., Goulding, K. W. T., Powlson, D. S. 1995. Methane oxidation in temperate soils: Effects of land use and the chemical form of nitrogen fertilizer. *Chemosphere* 30:539-546
- [8] Firestone, M. K.; Davidson, E.A. (1989) Microbial bases of NO and N<sub>2</sub>O production and consumption in soil. In: Andreae, M. O.; Schimel, D. S. (Ed.). Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. New York: John Wiley., p.7-21
- [9] Davidson, E. A; Schimel, J. P. (1995) Microbial processes of production and consumption of nitric oxide, nitrous oxide and methane. In: Matson, P. A.; Harris, R. C. (Ed.). Biogenic trace gases: measuring emissions from soil and water. Cambridge: University Press. p.327-357.
- [10] Panosso, A.R., Pereira, G.T., Marques Júnior, J., Scala Júnior, N. 2008. Variabilidade espacial da emissão de CO<sub>2</sub> em latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. *Eng. Agríc.* 28:p.227-236

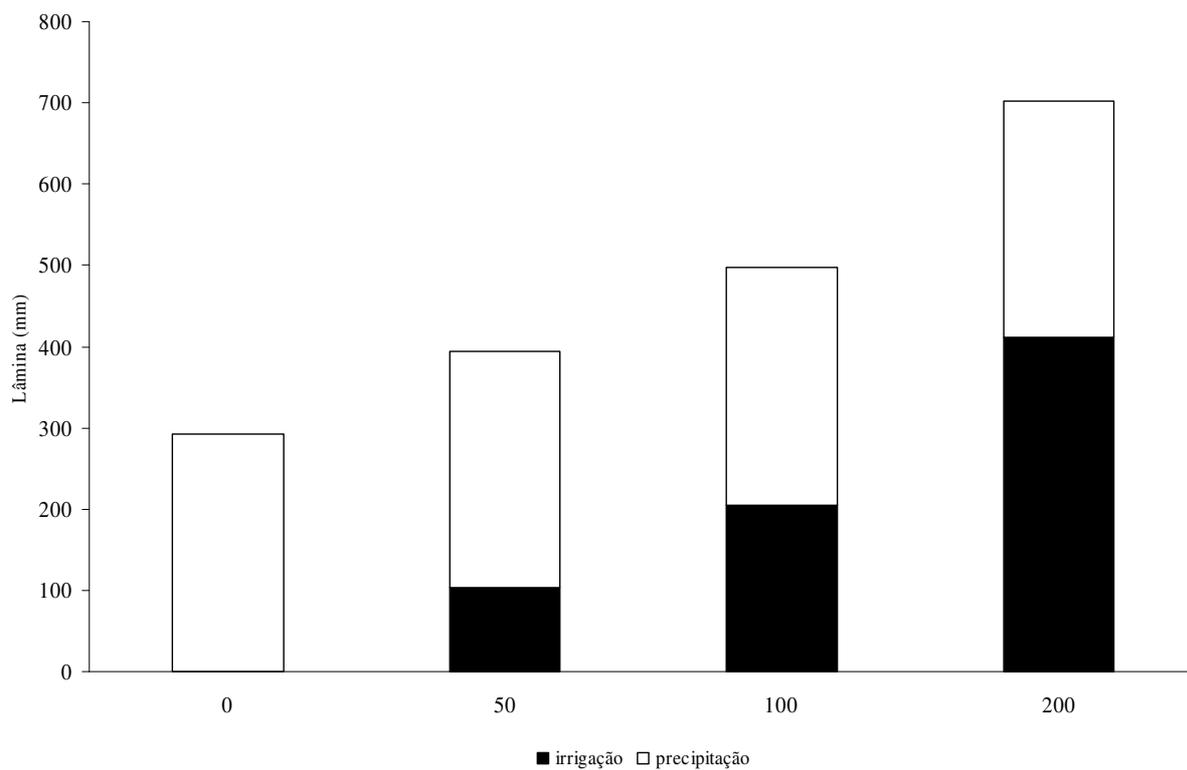


Figura 1. Lâminas de irrigação com efluente de esgoto tratado e precipitação na área de cana-de-açúcar, cultivada sob manejo sem queima, no município de Piracicaba, SP, no período de agosto a novembro de 2008 (0 – sem irrigação; 50 - 50 – lâmina de irrigação com efluente correspondente a 50% da ETc; 100 - lâmina de irrigação com efluente correspondente a 100% da ETc; 200 - lâmina de irrigação com efluente correspondente a 200% da ETc).

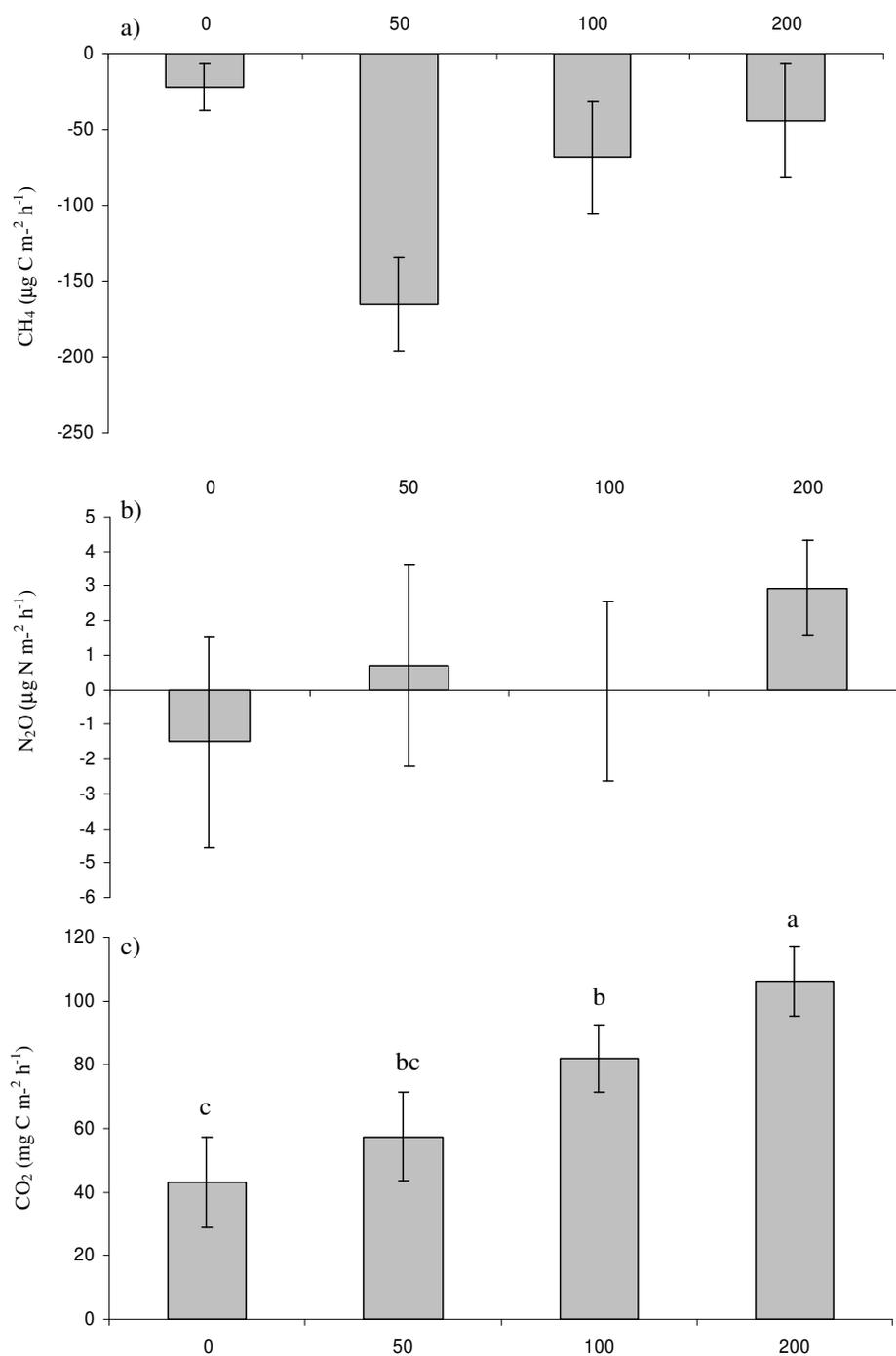


Figura 2. Fluxos médios e desvios padrões de (a) CH<sub>4</sub>, (b) N<sub>2</sub>O e (c) CO<sub>2</sub> em área de cana-de-açúcar sem queima, em função dos tratamentos (0 – sem irrigação; 50 – lâmina de irrigação com efluente correspondente a 50% da ETC; 100 - lâmina de irrigação com efluente correspondente a 100% da ETC; 200 - lâmina de irrigação com efluente correspondente a 200% da ETC). Médias sem letras não diferiram entre si, no teste t de Student (LSD), a 5% de probabilidade.