Aporte de carbono e nitrogênio e atividade microbiana de solo sob pastagem irrigada com esgoto tratado

CARBON AND NITROGEN INPUT AND SOIL MICROBIAL ACTIVITY IN PASTURE IRRIGATED WITH SEWAGE TREATED EFFLUENT

Alessandra Monteiro de Paula⁽¹⁾

Sandra Furlan Nogueira⁽²⁾

Adriel Ferreira da Fonseca⁽³⁾

Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso⁽⁴⁾

Adolpho José Melfi⁽⁵⁾

⁽¹⁾Dr. em Solos e Nutrição de Plantas, Pós-doutoranda da ESALQ/USP

⁽²⁾Dr. em Ciências, Pesquisadora Embrapa Monitoramento por Satélite (CNPq)

⁽³⁾Dr. em Solos e Nutrição de Plantas, Professor Adjunto da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) – Depto de Ciência do Solo e Eng. Agrícola (DESOLO)

⁽⁴⁾Dr. em Patologias de Plantas, Professora Titular da ESALQ/USP

⁽⁵⁾Dr. em Geociências, Professor Titular da ESALQ/USP.

Endereço: Av. Pádua Dias, 11, Agronomia – 13418-900, Piracicaba, SP – Brasil – e-mail: ampaula@esalq.usp.br.

RESUMO

A irrigação de áreas agrícolas com esgoto tratado é interessante e atrativa, quando realizada de forma controlada, e vem despertando o interesse da sociedade. Para avaliar o potencial dessa prática de reuso foi conduzido um experimento com lâminas excedentes de irrigação com esgoto tratado em área de pastagem de capim Tifton 85 (*Cynodon dactylon* Pers. X C. niemfuensis Vanderyst) no município de Lins (SP), ao lado da estação de tratamento de esgoto operada pela Sabesp, por 18 meses. A irrigação com esgoto tratado promoveu aumento do carbono microbiano e da relação C:N no período avaliado. Apesar de não ter sido observada variação significativa da respiração basal e qCO_2 , foi verificada elevada atividade microbiana nas áreas irrigadas com esgoto tratado. A irrigação com até 100% de excesso de EET mostrou-se eficiente fornecer nutrientes, especialmente nitrogênio, considerando o período de 18 meses de irrigação.

ABSTRACT

*Crop irrigation with treated sewage effluent (TSE) is an interesting and attractive practice, when applied in a controlled manner and recently is an issue that concerns the society. To evaluate the potential of this reuse practice a field experiment was designed with surplus irrigation of a Tifton 85 pasture (*Cynodon dactylon* Pers. X C. niemfuensis Vanderyst) with TSE. The experiment was installed next to the sewage treatment plant from Sabesp, at Lins district, SP, during 18 months. The TSE irrigation increased the soil microbial carbon and the soil C:N ratio, during the experimental period. Despite no statistical differences among the treatments was observed for the soil microbial activity attributes, like soil respiration and qCO_2 , the effluent irrigation improved soil microbial activity. The use of up to 100% surplus TSE irrigation showed suitable to supply nutrients to the pasture, especially nitrogen, considering the 18 months of irrigation.*

Palavras-chave: aporte de nitrogênio no solo; atividade microbiana do solo; reuso de água; irrigação de pastagem

Keywords: Soil nitrogen input; soil microbial activity; water reuse; pasture irrigation

INTRODUÇÃO

A irrigação de áreas agrícolas com esgoto tratado é de interesse de diversos setores da sociedade, em especial, os setores agrícola e ambiental (da Fonseca *et al.*, 2007). O esgoto tratado além de ser uma fonte alternativa de água para irrigação, contém nutrientes e a sua utilização pode resultar em aporte de menor quantidade de fertilizantes minerais para alto rendimento das culturas, sobretudo, de capim-Tifton 85 (*Cynodon dactylon* Pers. X C. niemfuensis Vanderyst) (Fonseca *et al.*, 2007a).

O sistema de tratamento de esgoto doméstico com lagoas de estabilização é o mais utilizado nas cidades de pequeno e médio porte (Feigin *et al.*, 1991), sobretu-

do, no interior do Estado de São Paulo. Este sistema gera efluentes, ou seja, esgotos tratados, que apresentam sólidos inorgânicos e material orgânico em suspensão ou dissolvido, características de águas residuárias, segundo Pescod (1992).

Embora o processo de tratamento por lagoas de estabilização seja capaz de reduzir consideravelmente as concentrações de nutrientes e matéria orgânica, os efluentes de lagoas de estabilização normalmente apresentam concentrações, principalmente de fósforo e nitrogênio, acima do permitido pela legislação para a disposição em cursos d'água. Dessa forma, alternativas para a disposição dos efluentes são discutidas em diversos trabalhos (Fonseca *et al.*, 2007b; Hamilton *et al.*, 2007).

O reuso agrícola de esgotos tratados destaca-se como alternativa mais econômica para a disposição ambiental desse resíduo (Asano *et al.*, 1996), utilizado em diversos países (Filip *et al.*, 1999). Contudo, a utilização intensiva e continuada de esgotos tratados na agricultura resulta em alta carga de sais minerais dissolvidos e sólidos suspensos, alterando as características químicas, físicas e biológicas do solo (Filip *et al.*, 1999; Balks *et al.*, 1998; Bond, 1998; Friedel *et al.*, 2000). As variações nas condições locais de solo, cobertura vegetal e composição do esgoto tratado são fatores determinantes da extensão dessas alterações, modificando (Mohammad & Mazahreh, 2003) ou não (Mancino & Pepper, 1992; Wang *et al.*, 2003) a qualidade do solo.

O aporte de material orgânico via irrigação com esgoto tratado pode promover alterações na atividade microbiana do solo (Ramirez-Fuentes *et al.*, 2002) ou manter a atividade microbiana semelhante a áreas não irrigadas com esgoto tratado (Wang *et al.*, 2003). Este fato está intimamente relacionado com a espécie vegetal irrigada e, no caso de gramíneas, o estímulo no crescimento promovido pela irrigação pode ser estendido ao ambiente rizosférico, influenciando a comunidade microbiana do solo. Um estímulo à atividade microbiana pode ser compreendido como um fenôme-

no positivo, dada a sua participação no processo de ciclagem de nutrientes. Porém, a intensa atividade dos microrganismos pode acarretar em liberação de nitrogênio em quantidades acima da demanda da cultura, resultando em lixiviação deste nutriente e consequente contaminação de águas subterrâneas.

A irrigação de culturas agrícolas com esgoto tratado possibilita dois grandes benefícios: (i) a reutilização dos nutrientes contidos no esgoto tratado pelas culturas; (ii) a redução da descarga de esgotos tratados nos corpos d'água. A aplicação de lâminas excedentes de irrigação com esgoto tratado permite avaliar o máximo potencial da cultura, do solo, do lençol freático e da atmosfera para receber esses esgotos tratados, sem maiores consequências, com a principal finalidade de preservar os recursos hídricos. Dessa forma, viabilidade da disposição do esgoto tratado, na forma de irrigação, pode ser aumentada com a utilização de lâminas excedentes à demanda da cultura. Porém, há dúvidas se essa prática pode acarretar em prejuízos aos atributos químicos e microbiológicos do solo. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de lâminas excedentes de esgoto tratado na irrigação de uma área de pastagem sobre o aporte de carbono e nitrogênio e seu efeito na atividade microbiana do solo, por um período de 18 meses de irrigação.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no município de Lins (SP), ao lado da estação municipal de tratamento de esgoto, operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp). O estudo foi iniciado dezembro de 2005 e teve duração de 18 meses. O capim-Bermuda Tifton 85 foi cultivado em um Argissolo Vermelho distrófico latossólico de textura média-argilosa, caracterizado por apresentar baixa fertilidade natural (Tabela 1).

Tabela 1- Características químicas e físicas do solo por ocasião da instalação do experimento. Média de 16 amostras

pH ⁽¹⁾	H + Al	Al	Ca	Mg	K	Na	CTC ⁽³⁾	V ⁽⁴⁾
----- mmol _c Kg ⁻¹ -----								%
4,90	15,17	1,00	10,26	5,61	1,45	ND ⁽²⁾	32,49	53,31
P	CT ⁽⁵⁾	NT ⁽⁶⁾	Areia	Silte	Argila		Classe text. ⁽⁹⁾	
					AT ⁽⁷⁾	ADA ⁽⁸⁾		
mg Kg ⁻¹	----- g Kg ⁻¹ -----							
6,23	5,97	0,46	740	60	200	21	MAre	

(1) pH em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹

(2) ND: elemento químico não detectado

(3) CTC: capacidade de troca catiônica a pH 7,0, $CTC = H + Al + Ca + Mg + K + Na$

(4) V: saturação por bases, $V = \frac{Ca + Mg + K + Na}{CTC}$

(5) CT: carbono total

(6) NT: nitrogênio total

(7) AT: concentração total de argila

(8) ADA: concentração de argila dispersa em água

(9) Classe text.: classe textural (MAre: textura média-arenosa).

O clima da região caracteriza-se como mesotérmico de inverno seco, com temperaturas médias variando de 18 a 26°C e uma precipitação anual entre 1100 a 1300 mm (Ciagro, 2007) (Figura 1).

Figura 1 - Precipitação mensal (colunas, em mm) e temperatura média mensal (linha pontilhada, em °C) do município de Lins, SP, no período de dezembro de 2005 a julho de 2007.

O delineamento experimental constituiu-se de faixas (quatro repetições) com quatro tratamentos, como segue: uma lâmina controle de irrigação com esgoto tratado (0% de excesso) e três lâminas excedentes (25, 50 e 100% de excesso) em relação à lâmina controle, baseando-se na capacidade de água disponível para a cultura. Cada parcela, com o tamanho de 7,0 x 12,0 m e bordadura de 1 m de cada lado, apresentando uma área útil de 50 m².

A irrigação foi realizada por aspersão convencional. O manejo da irrigação foi realizado com base na

umidade crítica do solo na camada 0 a 60 cm, para as parcelas da lâmina controle. O potencial mátrico (ψ_m) foi monitorado diariamente, a partir de leituras de tensiômetros instalados no meio das camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, nas parcelas da lâmina controle. A capacidade de água disponível (CAD) para o capim-Bermuda Tifton 85 foi estimada na lâmina controle (0% de excesso) para a camada de 0-60 cm, a partir da diferença entre a umidade volumétrica em ψ_m -20 kPa e ψ_m -1500 kPa. O início da irrigação ocorria sempre que a umidade volumétrica do solo correspondia a 70% da CAD no tratamento controle.

O esgoto tratado utilizado na irrigação era proveniente da estação de tratamento de esgoto doméstico, localizada adjacente ao experimento e operada pela Sabesp, composta de lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas, com tempo de retenção hidráulica de aproximadamente 5 e 15 dias, respectivamente.

O capim foi cortado bimestralmente, a uma altura de aproximadamente 5,0 cm, e a biomassa produzida foi retirada da parcela com o auxílio de rastelos. A fertilização do experimento considerou um sistema de produção de forragem para fenação (Werner *et al.*, 1996), no qual foram aplicados fertilizante mineral fosfatado (superfosfato simples), à taxa de 100 kg ha⁻¹,

Figura 2. Precipitação (precip) e lâminas excedentes de irrigação com esgoto tratado (irrig), aplicadas na área de pastagem de capim Tifton 85 (0, 25, 50 e 100% de excesso) por 18 meses, no período de dezembro de 2005 a julho de 2007, em Lins, SP.

a cada 6 meses; 50 kg ha⁻¹ de fertilizante mineral nitrogenado (nitrato de amônio) e 80 kg ha⁻¹ de fertilizante mineral potássico (cloreto de potássio), aplicados imediatamente após cada corte do capim (Premazzi *et al.*, 2003).

As amostras de solo foram coletadas da camada 0-10 cm e foram realizadas de forma a acompanhar o efeito da irrigação com esgoto tratado no início e final das estações chuvosa (novembro a abril) e seca (maio a outubro). Assim, as coletas foram realizadas no tempo zero (início do experimento) e aos três (março/2006), sete (julho/2006), nove (setembro/2006), 12 (dezembro/2006), 13 (janeiro/2007), 15 (abril/2007) e 18 meses (julho/2007). Foram determinadas as concentrações de carbono (CT) e nitrogênio total (NT) do solo, por combustão a seco. Para análise da atividade microbiana foram determinados: o carbono microbiano do solo, pelo método da fumigação-extração (Vance *et al.*, 1987), respiração basal do solo (Anderson, 1982) e o índice quociente metabólico (qCO_2), que representa a atividade específica da biomassa microbiana.

Os resultados foram submetidos à análise estatística univariada, aplicando o procedimento GLM, considerando como fontes de variação a lâmina de irrigação e o tempo de avaliação no período de 18 meses, utilizando o programa SAS Versão 7.1 (SAS Institute Inc., 2002).

RESULTADOS

No período de dezembro de 2005 a julho de 2007, a quantidade de irrigação acumulada variou de 1254 a 2296 mm, na menor e maior lâmina de irrigação respectivamente e, a precipitação acumulada no mesmo período foi de 2422 mm. A precipitação ocorreu de acordo com o esperado para a região de Lins, SP, com chuvas concentradas nos meses de outubro a março e estiagem de abril a setembro (Figura 1).

Os maiores volumes de esgoto tratado foram aplicados nos períodos de novembro de 2006 a janeiro de 2007 (Figura 2), correspondentes aos períodos mais quentes do ano, o que colabora com o crescimento e com o aumento da evapotranspiração do capim Tifton

85. Nos meses de maio a agosto, nos quais são observadas as menores temperaturas médias do ano (Figura 1), a taxa de crescimento do capim Tifton 85 é menor (Nogueira, 2008), bem como sua evapotranspiração, exigindo menores volumes de água.

A aplicação de esgoto tratado proporcionou adição de material orgânico, que variou de 784 kg ha⁻¹, para a menor lâmina até 1441 kg ha⁻¹, para a maior (Tabela 2). Deste material orgânico, 35% correspondem ao carbono (carbono particulado total, CPT) e 6,6% ao nitrogênio (nitrogênio particulado total, NPT). A fase particulada dos esgoto tratado por lagoas de estabilização é composta principalmente por algas (Snow *et al.*, 1999; Von Sperling, 2002), que possui uma baixa relação C:N (Carbono:Nitrogênio).

A adição de nitrogênio via esgoto tratado na forma mineral (NH_4^+ , NO_2^- + NO_3^-) foi de 337,1 kg ha⁻¹ para a lâmina controle e de 618,2 kg ha⁻¹ na lâmina com 100% de excesso de irrigação. Esses valores, somados ao nitrogênio mineral fornecido via fertilizante (390 kg ha⁻¹ ano⁻¹), proporcionaram uma entrada de nitrogênio da ordem de até 1000 kg ha⁻¹ na lâmina com 100% de excesso de irrigação. Na presença de irrigação com esgoto tratado, o capim-Tifton 85 aumentou linearmente o rendimento de massa seca até 856 kg N ha⁻¹ ano⁻¹, sendo 520 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ na forma de nitrogênio mineral e 336 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio do esgoto tratado (Fonseca *et al.* 2007). Estes fatos demonstram a elevada capacidade do capim-Tifton 85 em utilizar o nitrogênio tanto da adubação mineral quanto do N-estgoto tratado, mesmo na maior lâmina, com 100% de excesso.

A disponibilidade de nitrogênio no solo é favorecida pela adição de materiais com baixa relação C:N (Buchanan & Gliessman, 1991). Dessa forma, a adição ao solo do esgoto tratado, de baixa relação C:N (1,77:1), somada à entrada de massa seca, resultante da deposição natural de folhas mortas, de alta relação C:N do capim-Bermuda Tifton 85 (21:1), e à relação C:N do solo, em torno de 14:1 (Tabela 2), em conjunto com as condições favoráveis de umidade e temperatura configuram um cenário propício ao metabolismo microbiano.

Tabela 2. Caracterização do esgoto tratado quanto aos conteúdos de frações particuladas e dissolvidas de C e N; quantidade adicionada pela aplicação das lâminas de irrigação com esgoto tratado (0, 25, 50 e 100% de excesso de irrigação) ao solo destas frações no período de janeiro de 2006 a julho de 2007, de N via fertilizante, carbono orgânico, N total e relação C:N

	Irrig.	SST ⁽¹⁾	CPT ⁽²⁾	NPT ⁽³⁾	CID ⁽⁴⁾	COD ⁽⁵⁾	NO ₂ ⁺ NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	COT ⁽⁶⁾	NT ⁽⁷⁾	COT:NT ⁽⁸⁾
mg L ⁻¹											
Esgoto tratado		128	44,9	8,5	88,3	17,8	3,8	23,1			
Lâminas	m ³ ha ⁻¹	kg ha ⁻¹									
0%	12542,2	1605	561,1	106,6	1107,5	223,2	48,1	289	784,1	443,1	1,77
25%	15094,0	1932	677,2	128,3	1333,2	269,1	57,3	349	946,3	534,3	1,77
50%	17722,9	2268	796,1	151,1	1565,1	316,1	67,3	409	1112,1	627,3	1,77
100%	22966,0	2939	1032	195,2	2028,1	409,1	87,2	531	1441,1	813,1	1,77

(1) Sólidos solúveis totais; (2) Carbono particulado total; (3) Nitrogênio particulado total; (4) Carbono inorgânico dissolvido; (5) Carbono orgânico dissolvido; (6) Carbono orgânico total; (7) Nitrogênio total; (8) Relação carbono orgânico total (via esgoto tratado): nitrogênio total.

Para os atributos respiração basal do solo, carbono microbiano e o índice qCO_2 , não foi constatado efeito significativo da irrigação com lâminas excedentes de esgoto tratado. Para a respiração basal do solo e o índice qCO_2 foi constatada uma grande variabilidade nos resultados, o que certamente comprometeu a avaliação do efeito dos tratamentos sobre esses atributos (Tabela 3).

O CT, NT e a relação C:N também não foram influenciados pelas lâminas excedentes de irrigação com esgoto tratado (Tabela 3). Entretanto, para a média dos tratamentos ao longo dos 18 meses de irrigação, observou-se um aumento significativo de cerca de 40% no CT (Figura 2a), no período de 8 a 15 meses de irrigação. Contudo, esta tendência de aumento não se manteve, sendo verificada uma redução dos valores de CT aos 18 meses. Assim como o CT, o NT também aumentou ao longo do tempo (Figura 2b), com o maior valor aos 12 meses de irrigação com esgoto tratado ($0,75 \text{ mg kg}^{-1}$) e, após esse período os valores diminuíram, retornando ao patamar verificado antes de iniciar a irrigação com esgoto tratado ($0,62 \text{ mg kg}^{-1}$).

Figura 2. a) carbono total (CT); b) nitrogênio total (NT); c) Carbono microbiano (Cmic) e d) relação carbono:nitrogênio (C:N) de uma área de pastagem irrigada com lâminas excedentes de esgoto tratado (0, 25, 50 e 100% de excesso) e coeficiente de variação (CV). Média das quatro lâminas de irrigação e erro-padrão.

Tabela 3 - Respiração basal ($C-CO_2$), quociente metabólico (qCO_2), carbono microbiano (Cmic), carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e relação carbono:nitrogênio (C:N) de uma área de pastagem irrigada com lâminas excedentes de esgoto tratado (0, 25, 50 e 100% de excesso) e coeficiente de variação (CV). Média de oito tempos de avaliação, seguidas do erro-padrão.

Variáveis analisadas	0	25	50	100	CV (%)
$C-CO_2$ ($\text{mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	$1,56 \pm 0,28$	$1,14 \pm 0,26$	$1,25 \pm 0,22$	$1,23 \pm 0,22$	69
Cmic (mg g^{-1})	$241,57 \pm 70,61$	$242,62 \pm 70$	$242,22 \pm 79,41$	$224,94 \pm 64,01$	29
qCO_2 ($\text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ Cmic h}^{-1}$)	$5,86 \pm 1,14$	$5,69 \pm 1,51$	$5,05 \pm 0,97$	$6,28 \pm 1,02$	74
CT (g kg^{-1})	$9,89 \pm 2,01$	$9,91 \pm 2,06$	$10,00 \pm 2,27$	$9,51 \pm 2,25$	21
NT (g kg^{-1})	$0,67 \pm 0,09$	$0,7 \pm 0,14$	$0,71 \pm 0,10$	$0,66 \pm 0,10$	16
C:N	$14,96 \pm 1,43$	$14,64 \pm 1,55$	$14,49 \pm 2,00$	$14,58 \pm 1,64$	12

Considerando a média das lâminas de irrigação com esgoto tratado, o Cmic variou em torno de $141,34$ (coleta de referência) a $300 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ (aos 8 e aos 12 meses de aplicação do esgoto tratado). No período de 18 meses, considerando apenas a coleta de referência e a última coleta realizada, o Cmic teve um aumento médio de aproximadamente 34% (Figura 2c).

A relação C:N manteve-se em torno de 12:1 nos primeiros quatro meses de irrigação com esgoto tratado e, a partir do oitavo mês de avaliação, observou-se um aumento de mais de 40% que se manteve até a última avaliação, aos 18 meses de aplicação do esgoto tratado, considerando a média das quatro lâminas de irrigação (Figura 2d). Não foi constatado efeito das lâminas excedentes de irrigação com esgoto tratado sobre a variação da relação C:N, ao longo dos 18 meses de estudo.

DISCUSSÃO

Embora alguns autores apresentem valores limites para identificar uma condição de estresse em uma comunidade microbiana, como o valor de $2 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ Cmic h}^{-1}$, proposto por Anderson (2003), as interpretações de índices como o qCO_2 devem ser conduzidas em conjunto com a avaliação de todo o cenário, ou seja, analisando simultaneamente outros parâmetros microbiológicos de atividade microbiana, como a atividade de enzimas no solo (Nogueira *et al.*, 2006).

Os elevados valores de qCO_2 observados nesse trabalho possivelmente estão relacionados com a alta ati-

vidade metabólica dos microrganismos, estimulada principalmente pelo manejo do capim e a irrigação com esgoto tratado. O manejo do capim realizado bimestralmente representava entradas de carbono, a partir da senescência natural das folhas e também como resultado do cisalhamento das plantas nos momentos de corte, assim como entradas de nitrogênio, proveniente tanto da adubação mineral como do esgoto tratado. Es-

sas interferências, somadas ao aumento da umidade do solo pela irrigação com esgoto tratado, indicam um cenário favorável à atividade microbiana.

Nogueira (2008), ao monitorar a dinâmica do CT e NT do solo em uma área de pastagem de capim-Bermuda Tifton 85, irrigada com esgoto tratado e adubada com diferentes doses de nitrogênio, no mesmo campo experimental deste trabalho, observou reduções no estoque de CT do solo nas áreas irrigadas tanto com água como com esgoto tratado, quando comparado com o tratamento sem irrigação e adubação nitrogenada, após 3 anos de manejo da área. Avaliações de curto prazo, entre 12 e 18 meses, como a realizada neste trabalho, não se mostraram suficientes para confirmar uma tendência de aumento ou redução nos teores de CT e NT no solo cultivado com pastagem irrigada com esgoto tratado.

Mudanças expressivas no CT, NT e C:N, ocasionadas pela irrigação com esgotos têm sido observadas em áreas irrigadas, porém em condições de longos períodos de aplicação, com mais de 40 anos, como descrito nos estudos realizados por Friedel *et al.* (2000), Ramirez-Fuentes *et al.* (2002) e Walker e Lin (2008). De acordo com Ramirez-Fuentes *et al.* (2002), aumento nos teores de CT e NT em áreas irrigadas com esgotos está relacionado tanto com a entrada direta de carbono e nitrogênio particulado e dissolvido nos esgotos, como também com o estímulo promovido pela irrigação no crescimento das raízes das plantas, e conseqüentemente, deposição de raízes mortas, compostos orgânicos exsudados pelas raízes e crescimento da biomassa microbiana do solo.

A disposição de esgotos tratados no solo por longos períodos tem promovido diferentes efeitos no carbono da biomassa microbiana. Aumento do carbono microbiano tem sido relatado em diversos estudos (Meli *et al.*, 2002; Ramirez-Fuentes *et al.*, 2002; Gelsomino *et al.*, 2006), em concordância com o que foi verificado neste trabalho, para a média das lâminas de irrigação aplicadas ao longo de 18 meses. Entretanto, em alguns trabalhos relatam a ausência de efeito da irrigação com esgotos tratados sobre o carbono microbiano (Schipper *et al.*, 1996; Wang *et al.*, 2003), o que possivelmente está relacionado com a capacidade de resiliência da comunidade microbiana de se adaptar às mudanças no ambiente edáfico, retornando às condições existentes antes da interferência no meio ambiente.

A aplicação de lâminas de irrigação com esgoto tratado, excedente em até 100% da capacidade de água disponível para a cultura, não promoveu modificações significativas na atividade microbiana e nos teores de CT e NT, em relação a lâmina controle. Entretanto, ao longo dos 18 meses, a irrigação com esgoto tratado promoveu um estímulo no crescimento da biomassa e na atividade microbiana no solo. Esse aumento pode

ser um indicativo de mineralização de matéria orgânica e, conseqüentemente do nitrogênio, devendo ser monitorado, a fim de evitar perdas de nitrogênio e contaminação do lençol freático.

CONCLUSÕES

No período de avaliação de 18 meses de irrigação, constatou-se aumento do Cmic e da relação C:N no período avaliado e manutenção dos demais parâmetros. Apesar de não ter sido observada variação significativa da respiração basal e qCO_2 , verificou-se elevada atividade microbiana nas áreas irrigadas com esgoto tratado.

A irrigação com até 100% de excesso de esgoto tratado mostrou-se eficiente em fornecer nutrientes, considerando o período de 18 meses de irrigação. Entretanto, um monitoramento da atividade microbiana do solo deve ser conduzido, de forma a acompanhar possíveis impactos do excesso de nitrogênio no sistema solo-planta.

REFERÊNCIAS

- AMERICAM PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) – AMERICAM WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). 20th ed. *Standard methods for examination for water and wastewater*. Washington, 1999, 1220p.
- ANDERSON, J.P.E. Soil respiration. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Ed.). *Methods of Soil Analysis*. Madison: ASA/SSSA, 1982. chap 7, pt 2, p. 837-871.
- ANDERSON, T.-H. *Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality*. Agriculture, Ecosystems and Environment, Amsterdam, v. 98, n. 2, p. 285-293, 2003.
- ASANO, T.; MAEDA, M.; TAKAKI, M. Wastewater reclamation and reuse in Japan: overview and implementation examples. *Water Science and Technology*, Oxford, v.34, n. 1, p.219-226, 1996.
- BALKS, M.R.; BOND, W.J.; SMITH, C.J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. *Australian Journal of Soil Research*. Melbourne, v.36, n. 5, p.821-830, 1998.
- BOND, W.J. Effluent irrigation - an environmental challenge for soil science. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v.36, n. 4, p.543-555, 1998.
- BUCHANAM, M.; GLIESSMAN, S. How compost fertilization affects soil nitrogen and crop yield. *Biocycle*, Emmaus, v. 12, p.2-7, 1991.
- CIIAGRO/Instituto agrônomo. Monitoramento climático. Disponível em:
<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/>. Acesso em: 10 Ago. 2007.
- FILIP, Z.; KANAZAWA, S.; BERTHELIN, J. Characterization of effects of a long-term wastewater irrigation on soil quality by

microbiological and biochemical parameters. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Tokyo, v. 162, n. 4, p. 409-413, 1999.

FONSECA, A.F.; MELFI, A.J.; MONTEIRO, F.A.; MONTES, C.R.; ALMEIDA, V.V.; HERPIN, U. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for Tifton 85 bermudagrass. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 87, n. 3, p. 328-336, 2007a.

FONSECA, A.F.; HERPIN, U.; PAULA, A.M.; VICTORIA, R.L.; MELFI, A.J. Agricultural use of treated sewage effluents: agroeconomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 64, n. 1, p.194-209, 2007b.

FRIEDEL, J.K.; LANGER, T.; SIEBE, C.; STAHR, K. Effects of long-term waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico. *Biology and Fertility Soils*, Berlin, v.31, n. 5, p.414-421, 2000.

GELSOMINO, A.; BADALUCCOB, L.; AMBROSOLIC, R.; CRECHIOD, C.; PUGLISIE, E.; MELI, S.M. Changes in chemical and biological soil properties as induced by anthropogenic disturbance: A case study of an agricultural soil under recurrent flooding by wastewaters. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 38, n. 8, p. 2069-2080, 2006.

HAMILTON, A.J.; STAGNITTI, F.; XIONG, X.; KREIDL, S.L.; BENKE, K.K.; MAHER, P. Wastewater irrigation: the state of play. *Vadoze Zone Journal*, v. 6, n. 4, 823-840.

MANCINO, C.F.; PEPPER, I.L. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: soil quality. *Agronomy Journal*, Madison, v. 84, n. 4, p.650-654, 1992.

MELI, S.; PORTO, M.; BELLIGNO, A.; BUFO, S. A.; MAZZATURA, A.; SCOPA, A. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameter in citrus orchard under Mediterranean condition. *The Science of the Total Environment*, Amsterdam, v.285, n. 1, p.69-77, 2002.

MOHAMMAD, M.J.; MAZAHREH, N. Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.34, n. 9-10, p. 1281-1294, 2003.

NOGUEIRA, M.A.; ALBINO, U.B.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; BRAUN, G.; CRUZ, M.F.; DIAS, B.A.; DUARTE, R.T.D.; GIOPPO, N.M.R.; MENNA, P.; ORLANDI, J.M.; RAIMAN, M.P.; RAMPAZO, L.G.L.; SANTOS, M.A.; SILVA, M.E.Z.; VIEIRA, F.P.; TOREZAN, J.M.D.; HUNGRIA, M.; ANDRADE, G. Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 115, n. 3-4, p. 237-247, 2006.

NOGUEIRA, S.F. Efeitos da irrigação com esgoto tratado e fertilização nitrogenada na ciclagem de carbono e nitrogênio

e no metabolismo microbiano de um solo cultivado com capim-Bermuda Tifton 85. 2008. 138p. Tese (Doutorado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

PESCOD, M.B. Wastewater treatment and use in agriculture. Rome: FAO, 1992. 125p. (*Irrigation and Drainage Paper*, 47)

PREMAZZI, L.M.; MONTEIRO, F.A.; CORRENTE, J.E. Tillering of Tifton 85 Bermudagrass in response to nitrogen rates and time of application after cutting. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.60, n. 3, p.565-571, 2003.

RAMIREZ-FUENTES, E.; LUCHO-CONSTANTINO, C.; ESCAMILLA-SILVA, E.; DENDOOVEN, L. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. *Bioresource Technology*, Essex, v.85, n. 2, p.179-187, 2002.

SAS SYSTEM. SAS Institute Inc. Release 8.02. Cary: The SAS Institute Inc. 2002.

SCHIPPER, L.A.; WILLIAMSON, J.C.; KETTLES, H.A; SPEIR, T.W. Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 25, Sep./Oct., p. 1073-1077, 1996.

SNOW, V.O.; SMITH, C.J.; POLGLASE, P.J.; PROBERT, M.E. Nitrogen dynamics in a eucalypt plantation irrigated with sewage effluent or bore water. *Australian Journal of Soil Research*, Wellington, v. 37, n. 3, p. 527-544, 1999.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VON SPERLING, M. *Lagoas de estabilização*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, 2002. 134p.

WALKER, C; LIN, H.S. Soil property changes after four decades of wastewater irrigation: A landscape perspective. *Catena*, Amsterdam, v. 73, n. 1, p. 63-74, 2007.

WANG, Z.; CHANG, A.C.; WU, L.; CROWLEY, D. Assessing the soil quality of long-term reclaimed wastewater-irrigated cropland. *Geoderma*, Amsterdam, v.114, n. 3/4, p.261-278, 2003.

WERNER, J.C.; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N.O.; QUAGGIO, J.A. Forrageiras. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo* 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. p.263-273. (*Boletim Técnico*, 100).