

Emissão de CO₂ do solo após reflorestamento e aplicação de lodo de esgoto

Janaina Braga Carmo (1*); Danilo Ignácio de Urzedo (1); Pedro José Ferreira Filho (1);
Elisabete Alves Pereira (2); Leonardo Machado Pitombo (1)

(1) Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Departamento de Ciências Ambientais, Rodovia João Leme dos Santos, km 110, 18052-780 Sorocaba (SP), Brasil.

(2) UFSCar, Departamento de Física, Química e Matemática, 180052-780 Sorocaba (SP), Brasil.

(*) Autora correspondente: jbcarmo2008@gmail.com

Recebido: 19/mar./2014; Aceito: 2/jun./2014

Resumo

O presente estudo teve como objetivo quantificar as emissões de gás carbônico a partir de um Latossolo Vermelho eutroférico sob pastagem degradada localizada na região de Sorocaba. Os tratamentos avaliados foram: lodo de esgoto (LE), composto de lodo de esgoto (CLE), adubo mineral (AM) e ausência de adubação (TO). O experimento foi conduzido em blocos inteiramente casualizados, sendo analisado o efeito dos quatro tratamentos (CLE, LE, AM e TO) com quatro repetições. A aplicação de lodo de esgoto, composto de lodo de esgoto, fertilizante mineral e ausência de adubação apresentaram efeito estatístico quanto às variáveis de incremento em altura e a altura do coleto das mudas de Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambessèdes - Calophyllaceae). Os tratamentos apresentaram diferença significativa quanto às emissões de CO₂ do solo. O CLE foi o tratamento de apresentou os maiores fluxos de CO₂, atingindo um pico de 9,33±0,96 g C m⁻² dia⁻¹ (p<0,0001), assim como o LE, com um fluxo máximo de CO₂ de 6,35±1,17 g C m⁻² dia⁻¹ (p<0,005), já o tratamento AM (4,96±1,61 g C m⁻² dia⁻¹) apresentou o mesmo efeito estatístico que o TO (5,33±0,49 g C m⁻² dia⁻¹). Os fluxos de CO₂ apresentaram correlação com a temperatura do solo em todos os tratamentos estudados. No entanto, considerando o período de 172 dias de avaliação do experimento, a perda total de C na forma de CO₂ foi de 2,7% do total de C adicionado com a aplicação dos resíduos no solo para o lodo de esgoto e de 0,7% do total de C adicionado com a aplicação dos resíduos no solo para o composto de lodo de esgoto.

Palavras-chave: gases do efeito estufa, resíduos orgânicos, carbono.

CO₂ emission from soil after reforestation and application of sewage sludge

Abstract

This study aimed to quantify the carbon dioxide emissions from an Oxisol under degraded pasture located in Sorocaba, São Paulo State, Brazil. The treatments were: sewage sludge (LE), sewage sludge compost (CLE), mineral fertilizer (AM) and no fertilization (TO). The experiment was conducted in a completely randomized block design with analysis of the effect of the four treatments (CLE, LE, and AM TO) with four replications. The application of sewage sludge, sewage sludge compost, mineral fertilizer and no fertilizer was statistically significant for the variables of height increase and stem height of Guanandi seedlings (*Calophyllum brasiliense* Cambessèdes - Calophyllaceae). Treatments showed significant differences in terms of CO₂ emissions from soil. The CLE exhibited the highest CO₂ fluxes, reaching a peak of 9.33±0.96 g C m⁻² day⁻¹ (p<0.0001), as well as the LE with a maximum CO₂ flux of 6.35±1.17 g C m⁻² day⁻¹ (p<0.005). The AM treatment (4.96±1.61 g C m⁻² day⁻¹) had the same statistical effect as TO (5.33±0.49 g C m⁻² day⁻¹). CO₂ fluxes were correlated with soil temperature in all treatments. However, considering the period of 172 days of evaluation, the total loss of C as CO₂ was 2.7% for sewage sludge and 0.7% for the sewage sludge compost of the total C added with the application on soil.

Key words: GHG, organic waste, carbon.

1. INTRODUÇÃO

As emissões de gases que contribuem para o aumento do aquecimento global ou gases que causam o efeito estufa (GEE), principalmente o dióxido de carbono (CO₂), têm despertado vasto interesse da sociedade, frente às diversas consequências previstas em razão das mudanças climáticas (IPCC, 2007). O aumento da concentração

dos GEE na atmosfera devido às atividades antrópicas elevou a temperatura média da Terra em 0,6 °C no século passado e, atualmente, exibe a taxa de aquecimento de 0,21 °C a cada década (IPCC, 2007). No entanto, são estimados aumentos de 5,8 °C para os próximos cem anos, impacto que afetará todos os países em diferentes

escalas (IPCC, 2007). Dentre as consequências, podem-se destacar a redução da produtividade agrícola, a extinção de espécies, a desertificação, o aumento do nível dos mares e de vetores de doenças (IPCC, 2007).

Entre os GEE, o dióxido de carbono (CO₂) é reconhecido como o gás que mais contribui para o aquecimento global, devido à grande quantidade emitida, que corresponde aproximadamente 55% do total das emissões (Cerri et al., 2007).

A aplicação de fertilizantes minerais e resíduos orgânicos no solo podem alterar a emissão de GEE para atmosfera (Chiaradia et al., 2009). No caso da adição de fertilizantes minerais, a maior preocupação está voltada para as perdas de nitrogênio na forma de N₂O provenientes de fertilizantes nitrogenados (Passianoto et al., 2004). O CO₂ está mais relacionado com práticas de preparo do solo e adição de resíduos orgânicos (Carmo et al., 2007).

No entanto, a aplicação do lodo de esgoto no solo como adubo orgânico é uma das alternativas para resolver um grave problema do destino final desse resíduo, uma vez que é constituído em grande parte por nutrientes exigidos pelas plantas (Jayasinghe, 2012). Por outro lado, adição de lodo de esgoto ou resíduos orgânicos com altos teores de carbono orgânico disponível pode aumentar consideravelmente a emissão de gases para a atmosfera (De Urzedo et al., 2013).

Sistemas de manejo do solo que adicionam resíduos orgânicos e incorporação de carbono (C) são avaliados como alternativas importantes para aumentar a capacidade de dreno de C atmosférico e gerar mitigação para o aquecimento global (Amado et al., 2001; Bayer et al., 2006). Nesse sentido, o lodo de esgoto apresenta elevado potencial como promotor do retorno de carbono orgânico (C-org) e nutrientes para o solo (Chiaradia et al., 2009). Práticas de manejo conservacionista do solo contribuem para o processo de captura do C da atmosfera, possibilitando a sua imobilização no solo e na biomassa na ordem de 0,65 a 1,30 t ha⁻¹ ano⁻¹ C (Bruinsma, 2003). O aumento na quantidade de C-org do solo promove melhorias nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas, normalmente resultando em melhores condições para o desenvolvimento das plantas (Jayasinghe, 2012).

Diante desse contexto, um dos aspectos de grande destaque nos estudos de matéria orgânica do solo é a avaliação das perdas de gás carbônico em função do uso e manejo da terra (D'Andrea et al., 2004). Nesse contexto, estudos mais aprofundados sobre as emissões de GEE a partir do solo onde são aplicados resíduos orgânicos são importantes para avaliar os benefícios reais do seu uso, bem como o potencial da adição de composto orgânicos no sequestro de carbono em solos tropicais (Ajwa e Tabatabai, 1994; Fernandes et al., 2005; Jenkinson et al., 1991). Mesmo que estudos demonstrem aumentos consideráveis nas emissões de GEE após o uso de lodo de esgoto, essas emissões podem

ser pouco significativas frente à quantidade de carbono remanescente no solo (Paramasivam et al., 2008).

O estudo teve como objetivo avaliar as emissões de gás carbônico a partir de um Latossolo Vermelho eutroférico da região de Sorocaba tratado com lodo de esgoto, composto de lodo de esgoto e adubo mineral, assim como determinar as relações das emissões em razão da temperatura do solo. Além de medir o crescimento inicial das mudas de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambessèdes – Calophyllaceae) nos diferentes tratamentos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em uma área de pastagem degradada, localizada na região de Sorocaba, interior do estado de São Paulo, nas coordenadas geográficas 23°34'40"S e 47°31'17,8"W. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região pode ser caracterizado como do tipo *Cfa* (subtropical quente), tendo como temperatura média anual 21,4 °C, máxima de verão de 30,1 °C e mínima de inverno de 12,2 °C, com 1.285 mm de pluviosidade anual (Silva, 2007). O solo da área experimental foi classificado como um Latossolo Vermelho eutroférico de acordo com o descrito pela Embrapa (2006).

A espécie escolhida para o experimento foi o guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambessèdes – Calophyllaceae). O plantio foi realizado em uma área de pastagem degradada, utilizando espaçamento 3,0x2,0 m. Para a realização do plantio foi aplicado herbicida glifosato, visando eliminar a brotação de ervas daninhas. As covas foram abertas manualmente, com forma cilíndrica de 30 cm de profundidade e 20 cm de diâmetro, sendo que os adubos foram incorporados ao solo manualmente. As mudas utilizadas no plantio foram adquiridas no viveiro de mudas florestais da Tropical Flora Reflorestadora, localizado no município de Garça, interior de São Paulo. As plantas apresentaram características adequadas para experimentação em campo conforme as recomendações de Kalil et al. (2007). Maiores detalhes sobre a planta utilizada no experimento podem ser encontrados em De Urzedo et al. (2013).

O experimento foi conduzido em blocos inteiramente casualizados, sendo analisado o efeito de quatro tipos de adubação no solo com quatro repetições cada. Os tratamentos estudados foram o lodo de esgoto, composto de lodo de esgoto, fertilização mineral e ausência de adubação.

O experimento foi composto por 16 parcelas contendo 16 mudas de guanandi cada uma, formando uma bordadura simples, sendo que cada parcela abrangia uma área de 72 m², totalizando em 1.152 m² de área reflorestada com guanandi.

A definição das doses do adubo foi calculada em função do teor de N ideal para plantas nativas da Mata Atlântica (60 kg ha⁻¹) e aplicado na forma de nitrato de amônio (NH₄NO₃), conforme as recomendações de Van Raij et al.

(1996). Os tratamentos com lodo de esgoto e composto de lodo, receberam uma complementação de KCl, visto que o teor de potássio nesses resíduos é considerado baixo, as doses foram calculadas de acordo os teores recomendados por Van Raij et al. (1996). Os cálculos para chegar-se às doses referidas foram semelhantes aos realizados por Lambais e Carmo (2008), considerando como de 30% a taxa de mineralização do nitrogênio presente no lodo de esgoto e de 10% a taxa de mineralização do composto.

Para a quantificação do fluxo de gás carbônico foi utilizado o método da câmara estática, que se baseia na variação da concentração do gás no seu interior, disposta sobre a superfície do solo em função do tempo, a partir da adaptação da metodologia de Davidson et al. (2002). A câmara é composta por uma estrutura móvel de PVC de formato cilíndrico, com 22 cm de altura e 25 cm de diâmetro, o que permite a instalação temporária da câmara no entorno das plantas.

Para realizar a coleta das amostras de gases do interior da câmara foi utilizada uma seringa de nylon de 20 ml; em seguida o gás foi acondicionado em pequenos frascos de vidro vedados com tampas de borracha. Para cada câmara foram coletados quatro frascos durante período médio de 30 minutos, sendo a primeira amostra coletada após 1 minuto do fechamento da câmara e as restantes aos 10, 20 e 30 minutos após o fechamento da câmara. Os fluxos de CO foram mensurados para uma das quatro plantas que compunham a parcela útil de cada repetição, selecionadas de forma inteiramente casualizada. O monitoramento das emissões de CO₂ foi realizado ao longo dos 172 dias após o plantio e os cálculos das porcentagens de C emitidas na forma de CO₂ foi feito em função da quantidade de C-CO₂ acumulada nesse período.

As amostras de gases foram analisadas utilizando-se um cromatógrafo Shimadzu modelo GC-20-14, composto por um detector de captura de elétrons (ECD) operando à temperatura de 280 °C (Bowden et al., 1990) e um detector de ionização de chama (FID) para as determinações com mistura padrão de trabalho, sendo hélio o gás de arraste.

As perdas de C dos tratamentos de onde foram acondicionados os resíduos foram calculadas de acordo com De Urzedo et al. (2013).

Durante o período de tratamento das mudas com diferentes fontes de nutrientes foram coletados mensalmente dados do comprimento aéreo por meio de uma fita graduada em centímetros.

Análise dos dados

Os dados obtidos por meio dos cálculos dos fluxos foram sistematizados em gráficos nos quais foram realizadas quantificações do total de C (carbono) emitido pelo solo ao longo do monitoramento, por meio da interpolação

de pontos e da integral da curva de emissão, utilizando o *software* Origin.

Para a realização das análises estatísticas foram aplicados testes de normalidade de Kolmogorov Smirnov e Levene para verificar a homogeneidade de variância. Quando constatada a normalidade e a homogeneidade de variâncias, os dados obtidos foram analisados por meio de análises de variância (ANOVA) e a comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância (Barbin, 2003).

Para os dados que não apresentaram distribuição normal foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (Campos, 1983). Os referidos cálculos foram desenvolvidos por meio do *software* Statgraphics.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fluxos de C-CO₂ quantificadas no solo com lodo de esgoto, composto de lodo de esgoto, fertilizante mineral e ausência de adubação está apresentado na figura 1. De modo geral, os fluxos de C-CO₂ foram maiores durante os primeiros 50 dias após a instalação do experimento e fluxos mais baixos e próximos aos encontrados no tratamento controle foram observados a partir do 100º dia após a adição dos fertilizantes mineral e orgânico no solo. Esse comportamento nos fluxos indica que após cem dias o efeito dos resíduos nos fluxos de CO₂ diminuiu e permaneceu baixo até o final do período de avaliação.

O composto de lodo de esgoto foi o tratamento que apresentou as maiores emissões, atingindo um pico de $9,33 \pm 0,96 \text{ g C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ($p < 0,0001$) após 38 dias do plantio. Do mesmo modo, o tratamento do solo com lodo de esgoto apresentou emissões significativas ($p < 0,005$), com valor máximo de $6,35 \pm 1,17 \text{ C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ no início do

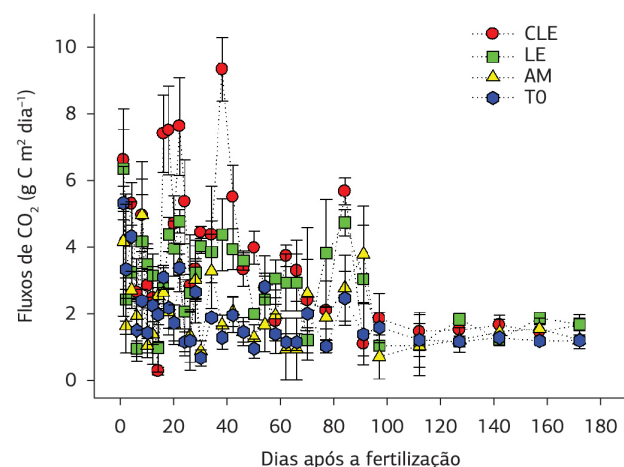


Figura 1. Emissão de gás carbônico ($\text{g C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) ao longo dos 172 dias de monitoramento do solo tratado com composto de lodo de esgoto (CLE), lodo de esgoto (LE), adubo mineral (AM) e ausência de adubação (T0).

experimento. Os resultados demonstraram que a aplicação de lodo de esgoto e composto de lodo elevaram as emissões de CO₂ do solo (Chiaradia et al., 2009; Fernandes et al., 2005; Lambais e Carmo, 2008) – esse processo pode estar associado com o aumento na quantidade de C disponível, que aumenta a atividade microbiana do solo e, conseqüentemente, estimula a respiração de microorganismos autotróficos e heterotróficos do solo (Ball e Smith, 1991). Desse modo, a aplicação de resíduos no solo possivelmente elevou o teor de matéria orgânica do solo (Chiaradia et al., 2009; Carmo et al., 2013), o que pode ser constatado pela composição dos materiais de estudo (De Urzedo et al., 2013).

O tratamento com fertilização mineral apresentou o mesmo efeito estatístico que o tratamento com ausência de adubação, com taxa máxima de emissão de 4,96±1,61 g C m⁻² dia⁻¹. O período com a maior emissão de gás carbônico do tratamento sem adição de adubos foi no dia do plantio, correspondendo a 5,33±0,49 g C m⁻² dia⁻¹. O resultado mostrou que a abertura das covas e o revolvimento do solo pode ter promovido as emissões de gás carbônico, uma vez que a movimentação do solo por ação mecânica é um dos principais fatores responsáveis por elevar as emissões CO₂ do solo (Reicosky e Lindstrom, 1993; Reicosky et al., 1997), com variações em razão da intensidade de preparo (La Scala Junior et al., 2001).

Os picos de emissão de CO₂ de todos os tratamentos estudados foram superiores aos valores de emissão de gás carbônico do solo do tratamento controle (0,976-1,955 g C m⁻² dia⁻¹), de acordo com a qualidade do solo avaliada pelo Soil Quality Kit Test em experimentos de longa duração (Conceição et al., 2005). No entanto, após 112 dias de monitoramento do solo foi verificado um processo de estabilização das emissões de CO₂, apresentando valores na faixa ideal para os tratamentos com lodo de esgoto (1,07±0,91 g C m⁻² dia⁻¹), composto de lodo de esgoto (1,48±0,24 g C m⁻² dia⁻¹), adubo mineral (1,04±0,30 g C m⁻² dia⁻¹) e ausência de adubação (1,23±0,82 g C m⁻² dia⁻¹).

As médias das emissões de CO₂ apresentaram correlação positiva com a média das temperaturas do solo para todos os tratamentos estudados (Figura 2). Os tratamentos que receberam lodo de esgoto (R²=0,93), composto de lodo de esgoto (R²=0,95) e adubo mineral (R²=0,84) apresentaram elevado coeficiente de determinação entre as variáveis mencionadas, assim como o fertilizante mineral, que também apresentou correlação positiva em uma menor magnitude (R²=0,69). Correlações entre as emissões de CO₂ do solo e temperatura são comumente encontradas na literatura e os autores concluem que aumentos na temperatura do solo estimulam a atividade microbiana bem como aumentam a respiração das raízes das plantas. Além disso, dependendo das condições de umidade do solo e da disponibilidade de nutrientes e carbono lábil, podem também acelerar a decomposição da matéria orgânica do solo (Duiker e Lal, 2000; Janssens et al., 2001; Longdoz et al., 2000; Raich e Schlesinger, 1992).

O composto de lodo de esgoto foi o tratamento que emitiu o maior valor total de C ao longo dos 172 dias de monitoramento do solo, totalizando 502,39 g C m⁻², seguido do lodo de esgoto, que emitiu 422,44 g C m⁻² (Figura 3). Esses dados evidenciam que os resíduos estudados, composto e o lodo de esgoto, emitiram, respectivamente, cerca de 1,90 vez e 1,65 vez mais gás carbônico quando comparados com o tratamento sem adubação (263,92 g C m⁻²), já a utilização de fertilizante mineral (297,12 g C m⁻²) elevou, aproximadamente, 1,12 vez a emissão de gás carbônico.

O valor acumulado de C-CO₂ durante 172 dias, em todos os tratamentos, foi menor do que o encontrado na literatura. No entanto, não há dados semelhantes e esse estudo em ecossistemas tropicais e em florestas plantadas. Por outro lado, trabalhos semelhantes em florestas boreais

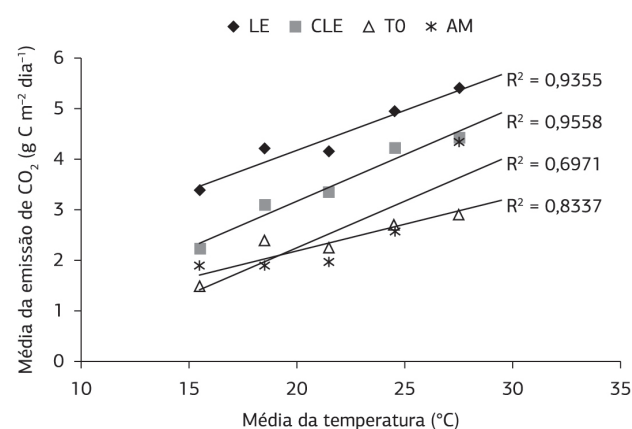


Figura 2. Regressão entre as médias das emissões de gás carbônico (g C m⁻² dia⁻¹) e as médias das temperaturas (°C) ao longo dos 172 dias de monitoramento, sendo os tratamentos: LE - lodo de esgoto; CLE - composto de lodo de esgoto; TO - ausência de adubação; AM - adubo mineral.

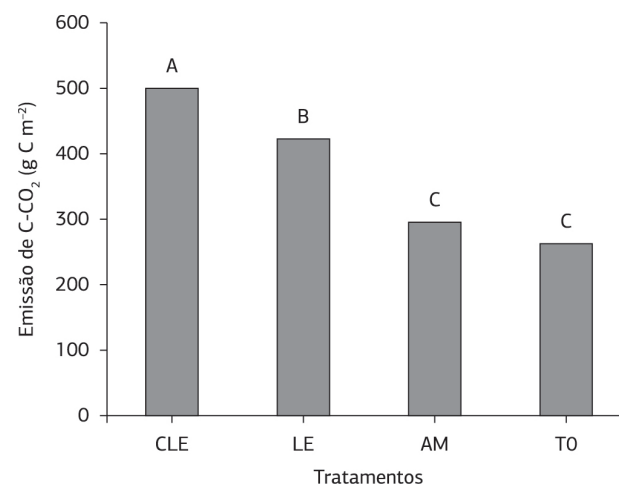


Figura 3. Emissão de C-CO₂ (g C m⁻²) ao longo do monitoramento do experimento (172 dias), sendo: CLE - composto de lodo de esgoto; LE - lodo de esgoto; AM - adubo mineral; TO - ausência de adubação; letras maiúsculas nas barras verticais indicam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de significância (n=4).

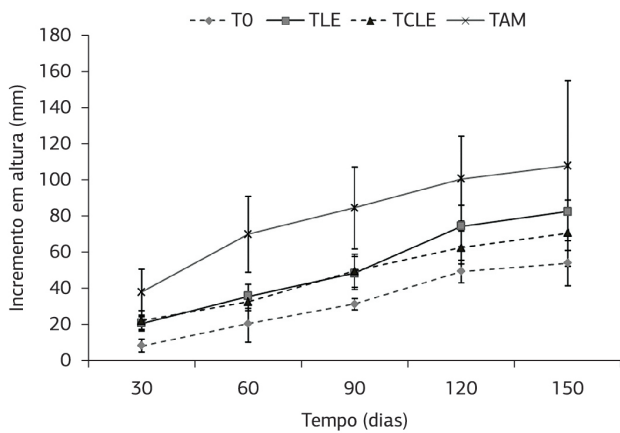


Figura 4. Incremento na altura de *C. brasiliense* (n=16) ao longo de 150 dias após o plantio das mudas, sendo: TLE - lodo de esgoto; TCLE - composto de lodo de esgoto; TAM - adubo mineral; T0 - ausência de adubação.

e temperadas interpolaram os dados obtidos e estimaram as perdas de C-CO₂ acumuladas em período de um ano. Russell e Voroney (1998) mostraram em seus estudos que em uma floresta boreal os valores estimados das emissões de gás carbônico variaram entre 809 e 905 g C m⁻² ano⁻¹, assim como as estimativas das emissões anuais para florestas temperadas variaram de 438±68 a 870±140 g C m⁻² ano⁻¹ (Longdoz et al., 2000).

A perda de carbono na forma de CO₂ do lodo de esgoto e do composto de lodo de esgoto foram, respectivamente, 2,7% e 0,7%, desse modo foi possível verificar que por mais que as emissões dos resíduos fossem significativas, a maior parcela do C-org (carbono orgânico) presente nos materiais permaneceu incorporada no solo. Desse modo, a aplicação do lodo de esgoto ou do composto de lodo de esgoto pode ser uma alternativa para aumentar a quantidade de carbono em solos tropicais desde que avaliações de longo prazo confirmem os resultados do presente trabalho, que teve um horizonte de avaliação de apenas 172 dias. A incorporação do C-org no solo pode estar relacionada tanto com o processo de produção do lodo quanto com a sua composição. O lodo de esgoto utilizado no estudo foi estabilizado em um processo que contribuiu para uma menor fração biodegradável com melhor recalcitrância e estabilidade do material. Os resíduos apresentavam características físico-químicas que promoviam a resistência à decomposição microbiana. As dificuldades na degradação também refletem-se na composição do lodo de esgoto, que apresenta compostos orgânicos de difícil degradação biológica, como óleos, graxas e outras moléculas mais recalcitrantes (Bertoncini et al., 2008). Ressalta-se que na composição dos resíduos foram encontradas substâncias húmicas, as quais são compostos mais estáveis e de difícil degradação do ponto vista químico, consideradas o estágio final da evolução dos compostos de C no solo (Stevenson, 1994), o que pode representar uma reserva de C no solo (Yang et al., 2004).

Os resultados obtidos demonstraram que a adição de lodo de esgoto e do composto de lodo de esgoto apresenta

potencial para aumentar a porcentagem de carbono no solo e a sua imobilização na dinâmica funcional do ecossistema (Bruinsma, 2003). Com a elevação do nível de C-org ocorrerão processos de recomposição do solo degradado, uma vez que ela possibilita melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, resulta em ganhos na fertilidade (Bertoncini et al., 2008). No entanto, é fundamental o desenvolvimento de estudos científicos de longo prazo para caracterizar a dinâmica das emissões, monitorando-se o processo de estabilização da matéria orgânica no solo para que desse modo seja possível estimar com exatidão o processo de sequestro de C pelo solo. Além disso, é necessário avaliar a qualidade da matéria orgânica e do C presentes nos resíduos estudados, para que se tenha conhecimento real de se lodo de esgoto e composto de esgoto promoveram ganhos em termos de fertilidade do solo e na nutrição das plantas.

As mudas de todos os tratamentos apresentaram aumento no crescimento em altura como resposta à aplicação do lodo de esgoto, do composto de lodo de esgoto e da fertilização mineral (Figura 4). O maior incremento foi observado nas mudas tratadas com fertilização mineral 108,20±47,08 mm, quando comparadas com as dos tratamentos com lodo de esgoto (82,87±21,37 mm) e do composto de lodo de esgoto (70,92±18,47 mm); já a ausência de adubação apresentou o menor incremento (54,30±12,42). No entanto, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos estudados – isso se deve possivelmente ao fato de a planta utilizada ser uma espécie caracterizada quanto ao grupo ecológico como secundária tardia, ou seja, o crescimento pode ser avaliado como lento (Carvalho, 2003), além de as mudas serem seminais, fato que poderia ter acarretado diferentes respostas dentro de cada tratamento, evidenciadas pelo elevado desvio padrão.

4. CONCLUSÃO

A aplicação de resíduos no solo, lodo de esgoto e composto de lodo de esgoto, elevou significativamente as emissões de gás carbônico quando comparada com a dos tratamentos adubação mineral e ausência de adubação, e houve forte correlação entre a temperatura do solo e as emissões de CO₂ em todos os tratamentos. No entanto, as perdas de C-CO₂ do solo tratado com lodo e composto de lodo, quando comparadas com a quantidade de carbono presente nesses resíduos, evidenciaram que o elevado teor de C-org desses materiais permaneceu, possivelmente, estocado no solo. No entanto, para melhor avaliar a estabilidade desse carbono adicionado ao solo, experimentos de longo prazo são necessários, para uma conclusão mais efetiva sobre o efeito da aplicação do lodo de esgoto e do composto de lodo de esgoto em relação ao potencial de incremento de carbono no solo.

REFERÊNCIAS

- AJWA, H.A.; TABATABAI, M.A. Decomposition of different organic materials in soils. *Biology and Fertility of Soils*, v.18, p.175-182, 1994. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00647664>
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.189-197, 2001.
- BALL, B.C.; SMITH, K.A. Gas movement. In: SMITH, K.A.; MULLINS, C.E. (Ed.). *Soil analysis: physical methods*. New York: Marcel Dekker, 1991. p.511-549. PMID:1679288 PMCID:PMC1683125.
- BARBIN, D. Planejamento e análise estatística de experimentos agrônomicos. Arapongas: Editora Midas, 2003. 208p.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research*, v.86, p.237-245, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2005.02.023>
- BERTONCINI, E.I.; DORAZIO, V.; SENESI, N.; MATTIAZZO, M.E. Fluorescence analysis of humic and fulvic acids from two Brazilian Oxisols as effected by biosolid amendment. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, v.38, p.1281-1288, 2008.
- BOWDEN, R.D.; STEUDLER, P.A.; MELILLO, J.M. Annual nitrous oxide fluxes from temperate Forest soils in the northeastern United States. *Journal of Geophysical Research*, v.95, p.13997-14005, 1990. <http://dx.doi.org/10.1029/JD095iD09p13997>
- BRUINSMA, J. World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective. London: Earthscan Publications, 2003. 432p.
- CAMPOS, H. Estatística experimental não-paramétrica. 4. ed. Piracicaba: ESALQ, 1983. 349p.
- CARMO, J.B.; FILOSO, S.; ZOTELLI, L.; SOUSA NETO, E.R.; PITOMBO, L.M.; VARGAS, V.P.; ANDRADE, C.A.; GAVA, G.C.; ELIA NETO, A.; CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; DUARTE NETO, P. J.; GAVA, G.J.C.; MARTINELLI, L.A. Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation. *Global Change Biology Bioenergy*, v.5, p.267-280, 2013. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1757-1707.2012.01199.x>
- CARMO, J.B.; PICCOLO, M.C.; ANDRADE, C.A.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; SOUSA-NETO, E.; CERRI, C.C. Short-term changes in nitrogen availability, gas fluxes (CO₂, NO, N₂O) and microbial biomass after tillage during pasture re-establishment in Rondônia, Brazil. *Soil & Tillage Research*, v.96, p.250-259, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2007.06.002>
- CARVALHO, P.E.R. Espécies arbóreas brasileiras. 3. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 1040p. (v.1). PMID:19379326.
- CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M.; CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agricola*, v.64, p.83-99, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162007000100013>
- CHIARADIA, J.J.; CHIBA M.K.; ANDRADE, C.A.; CARMO, J.B.; OLIVEIRA, C.; LAVORENTI, A. Fluxos de CO₂, CH₄ e N₂O de um Argissolo tratado com lodo de esgoto e cultivado com mamona. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1863-1870, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600035>
- CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.777-788, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000500013>
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.179-186, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000200012>
- DAVIDSON, E.A.; SAVAGE, K.; VERCHOT, L.V.; NAVARRO, R. Minimizing artifacts and biased in chamber-based measurements of soil respiration. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.113, p.21-37, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923\(02\)00100-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00100-4)
- DE URZEDO, D.I.; FRANCO, M.P.; PITOMBO, L.M.; CARMO, J.B. Effects of organic and inorganic fertilizers on greenhouse gas (GHG) emissions in tropical forestry. *Forest Ecology and Management*, v.310, p.37-44, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.018>
- DUIKER, S.W.; LAL, R. Carbon budge study using CO₂ flux measurements from a no till system in central Ohio. *Soil and Tillage Research*, v.54, p.21-30, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00101-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00101-4)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FERNANDES, S.A.P.; BETTIOL, W.; CERRI, C.C.; CAMARGO, P. Sewage sludge effects on gas fluxes at the soil-atmosphere interface, on soil δ¹³C and on total soil carbon and nitrogen. *Geoderma*, v.125, p.49-57, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.06.008>
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate change 2007: fourth assessment report on climate change impacts, adaptation and vulnerability of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University, 2007. 939p. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511546013>
- JANSSENS, I.A.; KOWALSKI, A.S.; CELEUMANS, R. Forest floor CO₂ fluxes estimated by eddy covariance and chamber-based model. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.106, p.61-69, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00177-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00177-5)
- JAYASINGHE, G.Y. Composted sewage sludge as an alternative potting media for lettuce cultivation. *Journal of Plant Nutrition*, v.43, p.2878-2887, 2012.
- JENKINSON, D.S.; ADAMS, D.E.; WILD, A. Model estimates of CO₂ emissions from soil in response to global warming. *Nature*, v.351, p.304-306, 1991. <http://dx.doi.org/10.1038/351304a0>
- KALIL, A.N.J.; MARZOLLO, L.J.; LOPES, A.J.; WENDLING, I. Produção de mudas de Guanandi. Colombo, PR: Embrapa, 2007. 4p. (Comunicado Técnico, n. 177)

- LA SCALA JUNIOR, N.; LOPES, A.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Carbon dioxide emissions after application of tillage systems for a dark red latosol in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v.62, p.163-166, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00212-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00212-4)
- LAMBAIS, M.R.; CARMO, J.B. Impactos da aplicação de biossólidos na microbiota de solos tropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1129-1138, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300021>
- LONGDOZ, B.; YERNAUX, M.; AUBINET, M. Soil CO₂ efflux measurements in a mixed forest: impact of chamber disturbances, spatial variability and seasonal evolution. *Global Change Biology*, v.6, p.907-917, 2000. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00369.x>
- PARAMASIVAM, S.; FORTENBERRY, G.Z.; JULIUS, A.; SAJWAN, K.S.; ALVA, A.K. Evaluation of emission of greenhouse gases from soils amended with sewage sludge. *Journal of Environmental Science and Health: Part A*, v.43, p.178-185, 2008. PMID:18172810. <http://dx.doi.org/10.1080/10934520701781574>
- PASSIANOTO, C.C.; AHRENS, T.; FEIGL, B.J.; STEUDLER, P.A.; MELILLO, J.M.; CARMO, J.B. Diurnal changes in nitric oxide emissions from conventional tillage and pasture sites in the Amazon Basin: influence of soil temperature. *Plant and Soil*, v.258, p.21-29, 2004. <http://dx.doi.org/10.1023/B:PLSO.0000016500.47714.30>
- RAICH, J.W.; SCHLESINGER, W.H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, v.44, p.81-99, 1992. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0889.1992.t01-1-00001.x>
- REICOSKY, D.C.; DUGAS, W.A.; TORBERT, H.A. Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. *Soil and Tillage Research*, v.41, p.105-118, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)01080-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01080-X)
- REICOSKY, D.C.; LINDSTROM, M.J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. *Agronomy Journal*, v.85, p.1237-1243, 1993. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500060027x>
- RUSSELL, C.A.; VORONEY, R.P. Carbon dioxide efflux from the floor of a boreal aspen forest. I. Relationship to environmental variables and estimates of C respired. *Canadian Journal of Soil Science*, v.78, p.301-310, 1998. <http://dx.doi.org/10.4141/S97-054>
- SILVA, A.M.; IKEMATSU, P.; PAULA, F.P.; NOGUEIRA, D.P.; SILVEIRA, F.M.; ALVES, S.H.; BOMBACK, M. Dimensionamento e estudo dos fatores condicionantes de duas voçorocas localizadas no município de Sorocaba (SP). *Caminhos de Geografia*, v.8, p.76-85, 2007.
- STEVENSON, F.J. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 496p.
- VAN RAIJ, B.; 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 Agronômico, 1996. (Boletim Técnico, n. 100)
- YANG, Z.; SINGHT, B.R.; SITAULA, B.K. Fractions of organic carbon in soils under different crop rotation, cover crop and fertilization practices. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, v.68, p.1-6, 2004.