

Fontes de emissão de CO₂ de um Latossolo Vermelho do Rio Grande do Sul em avaliações de curto período¹

Luciano Zucuni Pes²; Telmo Jorge Carneiro Amado³

¹ Parte da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

² Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria; Santa Maria – RS; e-mail: lucianopes@politecnico.ufsm.br

³ Professor Titular do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria.

RESUMO: Os estudos da dinâmica do carbono (C) do solo no chamado curto período de avaliações (escala de dias) são importantes, principalmente no período de implantação das culturas, por este ser caracterizado por intensas atividades de revolvimento e desagregação do solo. Este trabalho teve como objetivo avaliar a contribuição de diferentes fontes de emissão de CO₂ pelo solo em avaliações de curto período. O estudo foi desenvolvido em um experimento de longa duração (22 anos), em Latossolo Vermelho, no município de Cruz Alta – RS. Emissões de CO₂ foram intensamente avaliadas na primavera de 2009 e outono de 2010, durante o período de estabelecimento de culturas anuais, utilizando um analisador infravermelho acoplado a um sistema de câmara fechada, nos sistemas de preparo convencional (PC) e plantio direto (PD). As contribuições da quebra dos agregados e dos resíduos culturais foram determinadas nos tratamentos com manutenção dos resíduos (+R) ou com remoção dos mesmos (-R). O C oriundo dos resíduos culturais foi a principal fonte de emissão de CO₂ no período de implantação das culturas, sendo que sua contribuição foi de aproximadamente 85%, enquanto que a disponibilização de C lábil protegido no interior dos agregados contribuiu com aproximadamente 15%, considerando o valor médio dos dois períodos. O preparo do solo apresentou limitada contribuição no incremento das emissões de CO₂ neste Latossolo, sendo ela estimada em 8,5% na média dos dois períodos de avaliação.

Termos de indexação: carbono lábil, matéria orgânica do solo, decomposição de resíduos.

INTRODUÇÃO

O dióxido de carbono (CO₂) é considerado o principal componente do efeito estufa adicional, sendo responsável por aproximadamente 50% do forçamento radiativo causador deste efeito (IPCC, 2007). Estima-se que a concentração na atmosfera teve um incremento de 315,9 ppm em 1959 para 397,3 ppm em março de 2013 (CO2NOW, 2013).

No contexto das emissões de CO₂, no Brasil a estimativa é de que o setor agrícola contribua com 75% das emissões totais deste gás, considerando a mudança de uso da terra (CERRI; CERRI, 2007).

Estas emissões estão associadas principalmente ao aumento da taxa de mineralização da matéria orgânica do solo (SCHLESINGER, 1999). Entretanto, deve ser salientado o potencial de mitigação das emissões de CO₂ do setor agrícola, especialmente através da adoção de práticas de manejo conservacionistas do solo, como o plantio direto (PD), que está associado ao sequestro de C.

Os estudos da dinâmica do C geralmente são baseados na escala de anos, também chamado de longo período. Entretanto, os estudos de curto período (escala de dias) também são importantes, principalmente no período de implantação das culturas. Este período é caracterizado por intensas atividades de revolvimento e desagregação do solo, no caso do preparo convencional (PC) e de revolvimento apenas na linha de semeadura, no caso do plantio direto (PD). Neste sentido, é importante o estudo da dinâmica do C em curto período, que pode contribuir na identificação das práticas de manejo do solo que causam maiores ou menores emissões de CO₂ quando adotadas.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a contribuição de diferentes fontes de emissão de CO₂ pelo solo em avaliações de curto período.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O estudo foi desenvolvido em parcelas do experimento "Influência do preparo do solo e da rotação de culturas sobre o rendimento e a rentabilidade das culturas", instalado em 1985 na Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (FUNDA CEP), município de Cruz Alta – RS, região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, nas coordenadas geográficas 28°36' Sul e 53°40' Oeste e altitude de 409 m.

O experimento é constituído por duas parcelas principais, que são os diferentes sistemas de preparo (PC e PD), medindo 300 x 40 m cada uma. Essas duas parcelas principais estão divididas em 5 sub-parcelas cada uma, que constituem os sistemas de rotação de culturas, medindo 60 x 40 m.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2005) e o clima, segundo a classificação de Köppen, é subtropical úmido, tipo Cfa 2a.

Avaliações realizadas Primavera de 2009

Esta avaliação ocorreu de 04/12/2009 a 18/12/2009, período em que foi realizado o preparo do solo e a implantação da cultura de verão nas parcelas estudadas. A avaliação foi realizada nas parcelas de PC e PD da Rotação R1-3. Esta rotação de culturas é compreendida por aveia preta (*Avena strigosa*) / soja (*Glycine max*) / aveia preta + ervilhaca comum (*Vicia sativa*) / milho (*Zea mays*) / nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*) / trigo (*Triticum aestivum*) / soja. No início das avaliações as parcelas apresentavam resíduos de aveia preta, sendo, na sequência, implantada a cultura da soja.

O PC consistiu de uma aração (05/12/2009), seguido de uma gradagem (08/12/2009). Já o PD consistiu na dessecação da área (10/12/2009) e na mobilização do solo apenas na linha durante a operação de semeadura, realizada no dia 14/12/2009 em ambos os sistemas (PC e PD).

O registro das emissões de CO₂ foi realizado com auxílio de um sistema portátil LI-COR (LI-8100). Trinta anéis de PVC foram instalados no total, de modo que seis anéis foram instalados em cada um dos tratamentos: PC com a manutenção dos resíduos culturais (PC+R), PC com a remoção manual dos resíduos culturais (PC-R), PD com a manutenção dos resíduos culturais (PD+R), PD com a remoção manual dos resíduos culturais (PD-R) e PD com a remoção manual dos resíduos culturais e desagregação manual do solo a agregados menores que 4 mm na camada 0-0,10 m (PD-R+Des). As avaliações iniciaram-se um dia antes da aração do solo. Nos dias de avaliação, as emissões de CO₂ foram registradas às 8, 13 e 17 horas no PC e às 9, 14 e 18 horas no PD, tendo sido calculada, após, a emissão média diária.

Outono de 2010

A avaliação ocorreu de 01/05/2010 a 15/05/2010, período em que foi realizado o preparo do solo e a implantação das culturas de inverno, nas mesmas parcelas da avaliação anterior. Entretanto, nesta avaliação, as parcelas apresentavam resíduos de soja, sendo na sequência implantado o consórcio aveia preta + ervilhaca comum.

O PC consistiu de uma aração (02/05/2010), seguido de uma gradagem (05/05/2010). Já o PD consistiu na dessecação da área (10/05/2010) e na mobilização do solo apenas na linha durante a operação de semeadura, realizada no dia 13/05/2010 em ambos os sistemas.

O equipamento de registro das emissões de CO₂, tratamentos, número de anéis por tratamento e horário de registro das emissões foram iguais à avaliação descrita anteriormente.

Análise matemática e estatística

Primeiramente, com auxílio do software Excel 2007, foram identificados os pontos atípicos e extremos, através de gráficos Box-Plot, elaborados para cada dia de avaliação, sendo ambos excluídos, seguindo o proposto por Isaaks e Srisvastava (1989). Já o contraste entre os tratamentos foi avaliado através do Teste de Tukey a 5% de significância, com auxílio do software SAS[®], versão 8.02 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primavera de 2009

A emissão acumulada no PC+R foi de 396,6 kg ha⁻¹ e no PD+R de 373,0 kg ha⁻¹ (Tabela 1) durante o período de avaliações, o que resultou em uma emissão média de 26,4 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no PC+R e de 24,9 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no PD+R (Tabela 1), sem diferença significativa entre os sistemas (Tukey 5%). Da mesma forma, outros autores reportaram emissões no PC e PD semelhantes (CAMPOS et al., 2011; COSTA et al., 2008).

Em relação aos tratamentos PC-R, PD-R e PD-R+Des, a média da emissão de C-CO₂ foi de 18,4 kg ha⁻¹ dia⁻¹, 17,2 kg ha⁻¹ dia⁻¹ e 17,8 kg ha⁻¹ dia⁻¹ (Tabela 1), respectivamente, sem diferença estatística entre elas (Tukey 5%). Logo, a emissão acumulada do período de avaliações foi de 276,0 kg ha⁻¹ no PC-R, 257,8 kg ha⁻¹ no PD-R e de 266,7 kg ha⁻¹ no PD-R+Des (Tabela 1).

Outono de 2010

O PC+R apresentou emissão acumulada de 330,6 kg ha⁻¹ e no PD+R de 289,4 kg ha⁻¹ (Tabela 1), logo, a emissão média foi de 22,0 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no PC+R e de 19,3 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no PD+R (Tabela 1), sem diferença estatística significativa (Tukey a 5%).

Em relação aos tratamentos PC-R, PD-R e PD-R+Des, a média da emissão de C-CO₂ foi de 13,1 kg ha⁻¹ dia⁻¹, 11,3 kg ha⁻¹ dia⁻¹ e 15,9 kg ha⁻¹ dia⁻¹ (Tabela 1), respectivamente, sem diferença estatística entre elas (Tukey 5%). Logo, a emissão acumulada do período de avaliações foi de 197,2 kg ha⁻¹ no PC-R, 170,3 kg ha⁻¹ no PD-R e de 193,5 kg ha⁻¹ no PD-R+Des (Tabela 1).

Fontes de emissão de C-CO₂

Em relação às principais fontes de emissão C-CO₂ atribuídas ao preparo do solo, considerou-se como sendo duas. A primeira diz respeito ao C-lábil protegido nos agregados do solo e disponibilizado por efeito do preparo (desagregação). Já a segunda fonte está relacionada ao C dos resíduos vegetais incorporados ao solo pelas atividades de preparo.

Os resultados indicam um limitado efeito do preparo. Isto pode ser observado através da comparação das médias entre o PD-R e o PD-

R+Des, quando não foi observada diferença estatística entre elas (Tabela 1), em ambos os períodos de avaliações. Na primavera/09 foi observado um incremento de aproximadamente 3% ($8,9 \text{ kg ha}^{-1}$) na emissão total do período de avaliações e no outono/10 o incremento foi de 14% ($23,2 \text{ kg ha}^{-1}$). É importante salientar que esta parcela apresenta um estoque de COT de $62,51 \text{ Mg ha}^{-1}$ na camada 0-0,20 m, onde $4,90 \text{ Mg ha}^{-1}$ (8%) é de carbono orgânico particulado (COP) e $57,61 \text{ Mg ha}^{-1}$ (92%) é de carbono orgânico associado aos minerais (COAM). Portanto, o pequeno incremento nas emissões de C-CO₂ verificada neste trabalho pode estar relacionado ao maior compartimento do COT estar associado aos minerais. Neste sentido, a alta estabilidade do C em solos tropicais e subtropicais é relacionada à presença de minerais de carga variável, como a caulinita e os óxidos de Fe e Al (BAYER et al., 2001; ZINN et al., 2005), mesmo quando os solos são submetidos ao preparo (CAMPOS et al., 2011; RAZAFIMBELO et al., 2008).

Na avaliação da primavera/09, o C lábil disponibilizado pelas atividades de preparo do solo (PC-R – PD-R), contribuiu com $18,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de C-CO₂, enquanto que o C dos resíduos culturais (PC+R – PC-R) contribuiu com $120,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de C-CO₂ (Tabela 2). Já na avaliação do outono/10, o C lábil disponibilizado pelas atividades de preparo do solo contribuiu com $26,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de C-CO₂, enquanto que o C dos resíduos culturais contribuiu com $133,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de C-CO₂ (Tabela 2). Neste sentido, considerando que a diferença entre as emissões totais do PC+R e do PD-R é o efeito associado das duas fontes de emissão de C-CO₂, estima-se que na avaliação da primavera/09 o C-lábil disponibilizado pelas atividades de preparo contribui com 13% desta diferença, enquanto que o C dos resíduos culturais contribui com 87%. Já na avaliação do outono/10, a estimativa é de que o C-lábil disponibilizado pelas atividades de preparo contribuiu com 17% desta diferença, enquanto que o C dos resíduos culturais contribuiu com 83%. Resultados semelhantes foram reportados por Glenn et al. (2011) e Pes et al. (2011), este último em trabalho semelhante desenvolvido neste mesmo experimento na primavera de 2007.

CONCLUSÕES

1. O C oriundo dos resíduos culturais foi a principal fonte de emissão de CO₂ no período de implantação das culturas, sendo que sua contribuição foi de aproximadamente 85%, enquanto que a disponibilização de C lábil protegido no interior dos agregados contribuiu com aproximadamente 15%, considerando o valor médio dos dois períodos.
2. O preparo do solo apresentou limitada contribuição no incremento das emissões de CO₂

neste Latossolo, sendo ela estimada em 8,5% na média dos dois períodos de avaliação.

REFERÊNCIAS

- BAYER, C. et al. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1473-1478, 2001.
- CAMPOS, B. C. et al. Long-term C-CO₂ emissions and carbon crop residue mineralization in an Oxisol under different tillage and crop rotation systems. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:819-832, 2011.
- CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Sequestro de carbono em solos na América Latina. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 32:40-44, 2007.
- COSTA, F. S. et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:323-332, 2008.
- CO2NOW. Earth's CO₂ Home Page. Disponível em: <<http://www.CO2now.org>>. Acesso em: 13 mar. 2013.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2005. 374p.
- GLENN, A. J. et al. Contribution of crop residue carbon to soil respiration at a Northern Prairie site using stable isotope flux measurements. *Agric. Forest. Meteorol.*, 151:1045-1054, 2011.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.
- ISAACS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *Applied geostatistics*. Nova York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- PES, L. Z. et al. The primary sources of carbon loss during the crop-establishment period in a subtropical Oxisol under contrasting tillage systems. *Soil Till. Res.*, 117:163-171, 2011.
- RAZAFIMBELO, T. M. et al. Aggregate associated-C and physical protection in a tropical clayey soil under Malagasy conventional and no-tillage systems. *Soil Till. Res.*, 98:140-149, 2008.
- SCHLESINGER, W. H. Carbon sequestration in soils. *Science*, 284:2095, 1999.
- ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil Till. Res.*, 84:28-40, 2005.

Tabela 1 – Emissão média e total de C-CO₂ observada nos diferentes tratamentos e períodos de avaliações.

Avaliação (Resíduos culturais)	Tratamento	Emissão média de C-CO ₂ do período	Emissão total de C-CO ₂ do período
		----- kg ha ⁻¹ dia ⁻¹ -----	----- kg ha ⁻¹ dia ⁻¹ -----
Primavera/09 (Aveia preta)	PC+R	26,4 a	396,6
	PC-R	18,4 bc	276,0
	PD+R	24,9 a	373,0
	PD-R	17,2 bc	257,8
	PD-R+Des	17,8 bc	266,7
Outono/10 (Soja)	PC+R	22,0 ab	330,6
	PC-R	13,1 cd	197,2
	PD+R	19,3 b	289,4
	PD-R	11,3 d	170,3
	PD-R+Des	12,9 cd	193,5

* As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% dentro da mesma coluna.

Tabela 2 – Principais fontes de emissão de C-CO₂ durante os períodos de avaliações e sua relação com o aporte de C dos resíduos culturais e o estoque de COT do solo na camada 0-0,20 m.

Avaliação (Resíduos culturais)	Fonte de Emissão	Emissão de C-CO ₂
		----- kg ha ⁻¹ -----
Primavera/09 (Aveia preta)	C-lábil solo	18,2
	C-resíduos	120,6
Outono/10 (Soja)	C-lábil solo	26,9
	C-resíduos	133,4