

EMISSÕES DE CO₂ OBSERVADAS DURANTE A REFORMA DE CANAVIAL

Oswaldo M.R. Cabral¹; Nilza P. Ramos¹; Ana P. Packer¹; Cristiano A. de Andrade¹; Helber C. de Freitas²; Cristiane Pires³

¹Embrapa Meio Ambiente

²IAG-DCA- Universidade de São Paulo, São Paulo - SP

³Fazenda da Aeronáutica-Pirassununga - SP

nilza.ramos@embrapa.br

Resumo

Os fluxos de CO₂ de um solo muito argiloso foram medidos utilizando-se o método da covariância de vórtices durante a reforma de um canavial realizada com operações de preparo convencional ao longo de 42 dias, entre agosto e outubro de 2015, em Pirassununga (SP). O total acumulado dos fluxos foi 165,7 g C m⁻² (607,6 g CO₂ m⁻²), representando 4% do estoque de carbono na camada superficial de 0,2 m de solo, estimado em 4.142 g C m⁻². A dependência dos fluxos de CO₂ com a umidade e a temperatura do solo indicaram que os fluxos foram menores para o solo mais seco e maiores temperaturas do solo, demonstrando que os efeitos destes fatores individualmente não são multiplicativos.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar, reforma, fluxos de CO₂, covariância de vórtices

Summary

The CO₂ soil fluxes were measured by the eddy covariance method during the sugarcane re-establishment under conventional tillage in a high clayey soil in Pirassununga (SP). The sum of fluxes over 42 days was 165.7 g C m⁻² (607.6 g CO₂ m⁻²) and represented 4% of the soil carbon stock in the surface layer of 0.2 m (4,142 g C m⁻²). Our results contradict the multiplicative effects of soil moisture and temperature as the soil respiration decreased due to the warming under dry soil conditions.

Keywords: Sugarcane, sugarcane field reform, CO₂ flow, vortex covariance

Introdução

Na última década observou-se o aumento significativo na produção do biocombustível etanol (QIN *et al.*, 2011) que na maior parte tem sido obtido do milho nos Estados Unidos e cana-de-açúcar no Brasil (WACLAWOVSKY *et al.*, 2010; MELLO *et al.*, 2014).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, contando em 2015 com uma área colhida de 9,0 milhões de hectares e produção aproximada de 634,8 milhões de toneladas (CONAB, 2016). As maiores áreas produtoras estão concentradas na região centro-sul do país, em particular no estado de São Paulo com 54% da produção (safra 2014/2015).

Devido ao envelhecimento e menor produtividade das plantações torna-se necessária a sua reforma; no Estado de São Paulo na safra 2014/2015 (UNICA, 2016) esta representou 10% da área total cultivada (5.897.841 ha). Em decorrência do preparo convencional do solo ocorre o aumento da mineralização do carbono e a emissão de CO₂, que depende do grau de perturbação promovido pelos implementos e operações adotadas. Portanto torna-se necessária a quantificação das emissões associadas ao plantio/reforma convencional e a sua contribuição em termos da pegada de carbono visando à sustentabilidade do agrossistema cana.

Neste trabalho são apresentadas as medidas dos fluxos de CO₂ entre o solo e a atmosfera observados durante a reforma de canavial colhido sem queima ao longo de 42 dias.

Material e Métodos

A área experimental localiza-se em Pirassununga (SP) na Fazenda da Aeronáutica (latitude 21° 57' 06" e longitude 47° 20' 07" e altitude 657 m) cujo manejo da plantação de cana de açúcar é realizado pelo grupo Abengoa Bioenergia. Selecionou-se um talhão de 10,4 ha cultivado com a variedade CTC7 em 19/12/2011, e colhido mecanicamente (cana-crua) ao final de julho de 2015 (70 ton/ha) para a entrada em reforma.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho de textura muito argilosa (75% argila; 21% areia e 4% de silte), em relevo plano, com seguintes atributos químicos na camada 0-0,2 m: pH= 5,5; M.O.= 26 g dm⁻³; Pres= 9,7 mg dm⁻³; K= 0,43 mmol_c dm⁻³; Ca= 45 mg dm⁻³; Mg= 13 mmol_c dm⁻³; S= 9,7 mg dm⁻³ e V%= 66,84.

A reforma foi realizada com operações de preparo convencional, utilizando o eliminador de soqueira de duas linhas; seguido de aração profunda com aiveca de duas hastas, com capacidade de revolvimento de até 0,45 m de profundidade e por último duas gradagens com implemento nivelador.

As observações ocorreram durante 42 dias, a partir do início da reforma do canavial em 20 de agosto de 2015 (dia do ano 232) até o dia 2 de outubro (dia 275), quando teve início o plantio. Os fluxos de CO₂ foram medidos por meio de um sistema de correlação de vórtices (CABRAL *et al.*, 2012, 2013) composto de um anemômetro sônico tridimensional e analisador infravermelho de H₂O/CO₂ (EC150, Campbell Sci., Logan UT-USA) instalado num tripé 2 m acima do solo (Figura 1). O conteúdo volumétrico de água no solo na camada superficial de 0-0,3 m foi monitorado por quatro sensores CS616 (Campbell Sci.) e a temperatura do solo por termopares (profundidades de 0,05; 0,10 e 0,20 m). Ao lado da área foi montada uma estação automática com sensores de radiação solar, chuva, temperatura e umidade do ar (Campbell Sci.).

Os fluxos turbulentos ($F_{t,x} = \overline{w'\chi'}$) são obtidos por meio da covariância das flutuações (AUBINET *et al.*, 2000; BALDOCCHI, 2003; CABRAL *et al.*, 2012, 2013) calculadas subtraindo-se dos sinais medidos a 20 Hz as médias de bloco (30 minutos), entre a velocidade vertical (w') e a densidade (χ') do CO₂. O balanço de CO₂ (NEE=Net Ecosystem Exchange) entre a plantação e atmosfera é dado pela soma dos fluxos turbulentos ($F_{t,x}$) e do termo de armazenamento (S_x), que é aproximado pela variação temporal das concentrações observadas

no topo do tripé, supondo-se que represente a coluna de ar abaixo da altura de medida (CABRAL *et al.*, 2013). As falhas de energia, erros ou condições ambientais adversas detectadas pelos testes de qualidade (FOKEN *et al.*, 2004) e filtro da velocidade de fricção (PAPALE *et al.*, 2006) provocam falhas nas séries temporais que devem ser preenchidas (“gap filling”). As falhas nos dados representaram 29% dos 2058 períodos de 30 minutos e foram preenchidas pelo método da variação diária média (FALGE *et al.*, 2001).

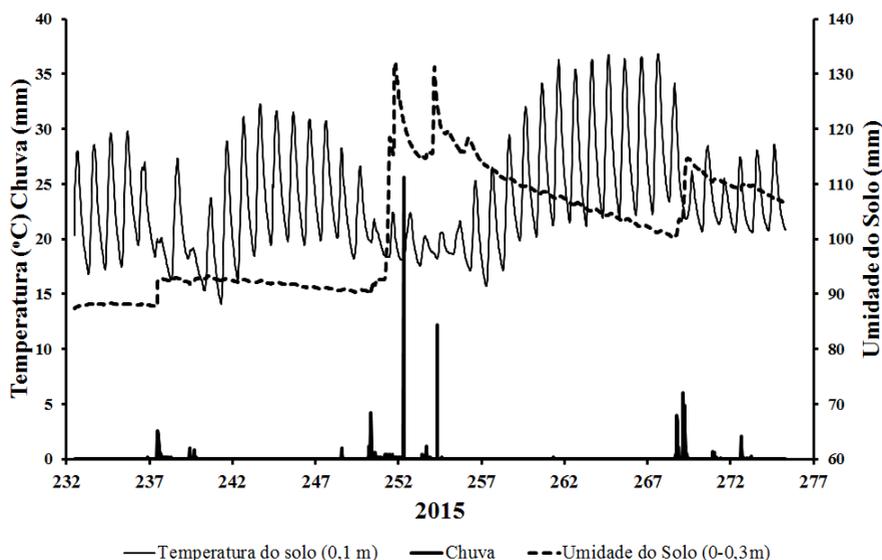
Figura 1. Área da reforma em Pirassununga (SP), com o sistema de medição de fluxos de CO₂



Resultados e Discussão

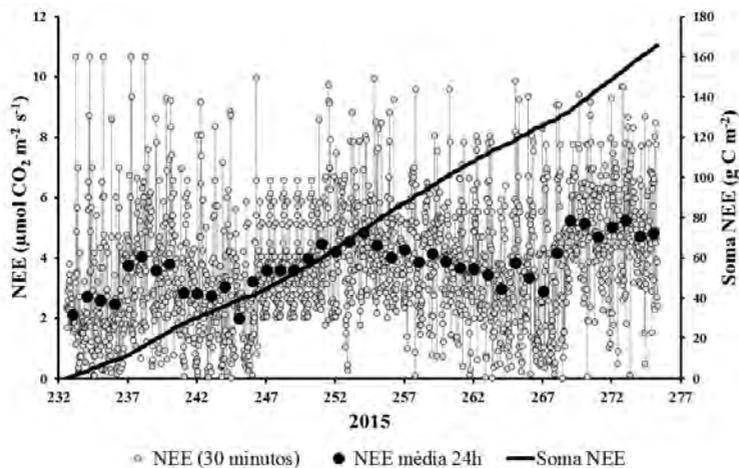
Na (Figura 2) são apresentadas as séries temporais de chuva, temperatura e umidade do solo durante o período de observações. A chuva total foi 120 mm, acima das médias históricas para os meses de agosto e setembro que são 28 e 59 mm, respectivamente. A ocorrência da chuva deveu-se à passagem de frentes frias em três períodos: 22,2 mm (dias 237-239); 63,2 mm (dias 250-254) e 33,3 mm entre os dias do ano 268 e 273, que promoveram a diminuição das temperaturas e o aumento na umidade do solo. Nos períodos seguintes às frentes os padrões são invertidos em decorrência da fraca intensidade do inverno na região (CABRAL *et al.*, 2012).

Figura 2. Séries temporais da temperatura do solo (0,10 m), chuva (mm) e do conteúdo de umidade na camada de solo (0-0,3 m) ao longo dos 42 dias de observações



Os fluxos de CO₂ emitidos a cada 30 minutos (Figura 3) demonstram respostas distintas com o aumento da umidade e à elevação da temperatura do solo. Nos três períodos de chuva os fluxos aumentaram embora as temperaturas tenham diminuído, e nos períodos subsequentes observaram-se fluxos de CO₂ menores em resposta à diminuição da umidade do solo embora as temperaturas tenham aumentado. Estas características são mais claras com relação aos valores médios diários dos fluxos de CO₂ que também são apresentados na figura 3. A dependência dos fluxos de CO₂ do solo com a temperatura é amplamente conhecida (LLOYD & TAYLOR, 1994) embora o papel da umidade seja menos óbvio. A fração mais lábil de carbono no solo sob o preparo convencional é na maior parte proveniente da incorporação da palhada remanescente cujo decaimento diminui em função do secamento do solo, quando o fluxo passa a ser função do material mais estável no solo (REINCHSTEIN *et al.*, 2002).

Figura 3. Séries temporais dos fluxos de CO₂ (30 minutos e médias 24 horas) entre o solo e atmosfera (nee) e a soma ao longo dos 42 dias de observações



A soma dos fluxos ao longo dos 42 dias foi 165,7 g C m⁻² (607,6 g CO₂ m⁻²) e como o estoque de carbono na camada de solo entre (0-0,2) m foi estimado em 4.142 g C m⁻², então o total emitido corresponderia a 4% do C armazenado sem considerarmos o aporte de biomassa dos resíduos da colheita. SILVA-OLAYA *et al.* (2013) obtiveram após 44 dias do preparo convencional o total de 95 g C m⁻² (350 g CO₂ m⁻²) num solo bem menos argiloso e com um estoque de C estimado em 9.460 g m⁻² na camada superficial de 0,3 m.

Baseado nas diferenças dos estoques de carbono na camada superficial de 0,2 m estimados por GALDOS *et al.* (2009) entre áreas com queima (2.786 g m⁻²) e sem queima (3.766 g m⁻²), ao longo de 8 anos, que indicaram o aumento médio anual de 122 g C m⁻², o efeito da reforma do canavial poderia ser amplamente anulado adotando-se o sistema de cana-crua.

Conclusões

Os resultados obtidos indicaram que as emissões de CO₂ do solo além de depender do tipo de solo, região e época da reforma do canavial, também apresentaram efeitos indiretos da umidade do solo com relação à temperatura, o que poderia reduzir, neste caso, o efeito das altas temperaturas decorrentes das mudanças climáticas, quanto aos fluxos de CO₂. Embora o fluxo total acumulado de 165,7 g C m⁻² (607,6 g CO₂ m⁻²), não tenha sido desprezível, com base nos dados da literatura poderia ser anulado adotando-se o sistema de cana-crua.

Agradecimentos

Contamos com o suporte fundamental de Eduardo Gomes, Henrique Vieira e Paulo Rossi, além do apoio da Fazenda da Aeronáutica e Abengoa Bioenergia. Esta ação contou com o auxílio da Embrapa Meio Ambiente (projeto 0211070220001008) e FAPESP (projeto 2014/24452-0).

Referências Bibliográficas

- AUBINET, M., GRELE, A., IBROM, A., RANNIK, U., MONCRIEFF, J., FOKEN, T., KOWALSKI, A. S., MARTIN, P. H., BERBIGIER, P., BERNHOFER, C., CLEMENT, R., ELBERS, J., GRANIER, A., GRUNWALD, T., MORGENSTERN, K., PILEGAARD, K., REBMANN, C., SNIJDERS, W., VALENTINI, R., VESALA, T. Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests: The EUROFLUX methodology. *Adv. Ecol. Res.*, 30, 113–175, 2000.
- BALDOCCHI, D. D.: Assessing the Eddy Covariance Technique for Evaluating Carbon Dioxide Exchange Rates of Ecosystems: Past, Present and Future. *Global Change Biol.*, 9, 479–492, 2003.
- CABRAL, O.M.R., ROCHA, H.R., GASH, J.H.C., LIGO, M.A.V., TATSCH, J.D., FREITAS, H.C., BRASILIO, E. Water use in a sugar-cane plantation. *GCB Bioenergy*, 4, 555–565, 2012.
- CABRAL, O.M.R., ROCHA, H. R., GASH, J.H., LIGO, M.A.V., RAMOS, N.P., PACKER, A.P., BATISTA, E.R. Fluxes of CO₂ above a sugarcane plantation in Brazil. *Agric. For. Meteorol.* 182-183, 54-66, 2013.
- CONAB, <http://www.conab.gov.br/>, acessado em 25/04/2016.
- FALGE, E., BALDOCCHI, D., OLSON, R., ANTHONI, P., AUBINET, M., BERNHOFER, C., BURBA, G., CEULEMANS, R., CLEMENT, R., DOLMAN, H., GRANIER, A., GROSS, P., GRUNWALD, T., HOLLINGER, D., JENSEN, N.O., KATUL, G., KERONEN, P., KOWALSKI, A., LAI, C.T., LAW, B.E., MEYERS, T., MONCRIEF, J., MOORS, E., MUNGER, J.W., PILEGAARD, K., RANNIK, U., REBMANN, C., SUYKER, A., TENHUNEN, J., TU, K., VERMA, S., VESALA, T., WILSON, K., WOPSY, S. Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange. *Agric. For. Meteorol.*, 107, 43–69, 2001.
- FOKEN, T., GOCKEDE, M., MAUDER, M., MAHRT, L., AMIRO, B., MUNGER, W. Post-field data quality control. In: Lee, X., Massman, W., Law, B.E. (Eds.), *Handbook of Micrometeorology*. Kluwer, Dordrecht, pp. 181–208, 2004.
- GALDOS, M.V., CERRI, C.C., CERRI, C.E.P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. *Geoderma*, 153, 347–352, 2009.
- LLOYD, J. & TAYLOR, J.A. On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology*, 8, 315–323, 1994.
- MELLO, F.F.C., CERRI, C.E.P., DAVIES, C.A., HOLBROOK, N.M., PAUSTIAN, K., MAIA, S.M.F., GALDOS, M.V., BERNOUX, M., CERRI, C.C. Payback time for soil carbon and sugar-cane ethanol. *Nature Climate Change*, doi:10.1038/NCLIMATE2239, 2014.
- PAPALE, D., REICHSTEIN, M., AUBINET, M., CANFORA, E., BERNHOFER, C., KUTSCH, W., LONGDOZ, B., RAMBAL, S., VALENTINI, R., VESALA, T., YAKIR, D. Towards a standardized processing of net ecosystem exchange measured with eddy covariance

technique: algorithms and uncertainty estimation. **Biogeosciences**, 3, 571–583, 2006.

QIN, Z., ZHUANG, Q., CHEN, M. Impacts of land use change due to biofuel crops on carbon balance, bioenergy production, and agricultural yield, in the conterminous United States. **GCB Bioenergy**, doi: 10.1111/j.1757-1707.2011.01129.x, 2011.

REICHSTEIN, M., TENHUNEN, J.D., ROUPSARD, O., OURCIVAL, J.-M., RAMBAL, S., DORE, S., VALENTINI, R. Ecosystem respiration in two Mediterranean evergreen Holm Oak forests: drought effects and decomposition dynamics. **Funct. Ecol.** 16, 27–39, 2002.

SILVA-OLAYA, A.M., CERRI, C.E.P., La SCALA Jr, n., DIAS, C.T.S., CERRI, C.C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environ. Res. Lett.**, 8, 2013.

UNICA, <http://www.unicadata.com.br/>, acessado em 25/04/2016.

WACLAWOVSKY, A.J., SATO, P.M., LEMBKE, C.G., MOORE, P., SOUZA, G.M., Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, 8, 263–276, 2010.