

TAXA DE EMISSÃO DE CO₂ DE UM LATOSSOLO FERTIRRIGADO COM ÁCIDO FOSFÓRICO POR GOTEJAMENTO¹

JOSÉ R. ZANINI², ANA K. G. BARRETO³, NEWTON LA SCALA JÚNIOR⁴

RESUMO: A aplicação de fertilizantes fosfatados por meio de fertirrigação com sistemas de irrigação localizada pode causar obstrução de emissores. Para evitar esse problema, pode ser utilizado o ácido fosfórico como fonte de fósforo às plantas. Porém, têm sido pouco investigados os efeitos da irrigação relacionados às perdas de CO₂ do solo para a atmosfera, em consequência da decomposição do carbono orgânico e da infiltração de água no solo. Neste trabalho, investigou-se, no período de um mês, o efeito da fertirrigação com ácido fosfórico nas taxas de emissão de CO₂ de um latossolo desprovido de vegetação, na Área Experimental de Irrigação da UNESP, Câmpus de Jaboticabal - SP. Utilizou-se de um sistema de irrigação por gotejamento, com delineamento experimental em blocos casualizados, constando de cinco repetições e cinco tratamentos (0; 30; 60; 90 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅), aplicados via fertirrigação com ácido fosfórico. Verificou-se que as taxas de emissão de CO₂ aumentaram significativamente após as fertirrigações, porém não houve efeito da dose do ácido fosfórico sobre as taxas. A umidade do solo mostrou-se um fator importante na relação entre as variações das taxas de emissão e a temperatura do solo ao longo do período estudado.

PALAVRAS-CHAVE: respiração do solo, irrigação localizada, fertirrigação.

CO₂ EMISSION RATE FROM A FERTIGATED BARE SOIL WITH PHOSPHORIC ACID BY DRIPPING

ABSTRACT: The application of phosphoric fertilizers through fertigation, with localized irrigation systems, can cause emitters obstruction. In order to avoid this problem, the phosphoric acid can be used as phosphorus source to the plants. However, it has been little investigations on the effects of the irrigation practices, related to the CO₂ transference to the atmosphere, due to organic matter decomposition in the soil and its water infiltration. At this work, the rates of emissions of CO₂ from a bare soil without vegetation, and fertigated along one month were investigated. The experiment was conducted with randomized blocks design in São Paulo State University - UNESP, Jaboticabal, Brazil. The drip irrigation system was used, with five treatments and five replications. The treatments were constituted by five rates (0; 30; 60; 90 and 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅), applied by fertigation using phosphoric acid. By the results, it is possible to verify that the emissions increased significantly after the fertigation events, however, no effect of phosphoric acid added to water was observed on emissions. Soil moisture was a relevant factor in the relationship among the variations of the emission rates and the temperature of the soil along the studied period.

KEYWORDS: soil respiration, localized irrigation, fertigation.

¹ Extraído da dissertação de mestrado do segundo autor.

³ Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Rural, UNESP, Jaboticabal - SP, jrzanini@fcav.unesp.br.

² Engenheira Agrônoma, mestre em Agronomia (Ciência do Solo), UNESP, Jaboticabal - SP, akurgel@hotmail.com.

⁴ Físico, Prof. Doutor, Departamento de Ciências Exatas, UNESP, Jaboticabal - SP.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 12-5-2004

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 15-6-2005

INTRODUÇÃO

A influência de práticas agrícolas na emissão de gases que causam o efeito estufa é assunto de grande interesse, especialmente quando se trata do CO₂, o principal componente do efeito estufa adicional (resultante de atividades antrópicas). Atividades agrícolas que envolvem o manejo do solo, como o seu preparo mecânico, têm afetado a dinâmica de tal emissão (REICOSKY & LINDSTROM, 1993; ROCHETTE & ANGERS, 1999; PRIOR et al., 2000; BAYER et al., 2000; LA SCALA JÚNIOR et al., 2001; LAL, 2003). Segundo EVE et al. (2002), a irrigação, a exemplo de outras práticas agrícolas, pode aumentar a transferência de carbono do solo para a atmosfera, sobretudo em condições tropicais. Pesquisas nesse sentido poderiam auxiliar a compreensão das fontes antrópicas do CO₂, ajudando a minimizar seus efeitos em nosso planeta.

A irrigação é uma prática agrícola usada como alternativa para sanar o problema da disponibilidade de água às plantas nas épocas de deficiência de chuvas (ALVES, 1999), contudo a influência da fertirrigação na taxa de emissão de CO₂ dos solos é pouco estudada. Aspectos ligados ao manejo da irrigação, como a vazão e a adição de nutrientes, podem afetar a dinâmica da emissão de CO₂ do solo em áreas cobertas de vegetação, onde não somente a atividade microbiana como também a respiração das raízes são responsáveis por tal emissão (CALDERÓN & JACKSON, 2002; RIETZ & HAYNES, 2003; WICHERN et al., 2004).

Neste trabalho, teve-se por objetivo investigar o efeito da fertirrigação por gotejamento com diferentes doses de ácido fosfórico, nas taxas de emissão de CO₂ de um latossolo não-vegetado.

MATERIAL E MÉTODOS

Local e manejo da irrigação

O experimento foi instalado na Área Experimental de Irrigação da UNESP, Câmpus de Jaboticabal, Estado de São Paulo. O solo da área experimental é classificado como eutroférico típico (ANDRIOLI & CENTURION, 1999), correspondendo ao Latossolo Vermelho Eutroférico, de acordo com a classificação de solos da EMBRAPA (1999). Para o preparo do solo e a eliminação da vegetação, realizou-se uma gradagem pesada com profundidade média de 15 cm, seguida de uma gradagem de nivelamento.

Utilizou-se de um sistema de irrigação por gotejamento, com cabeçal de controle constituído de motobomba de 2,98 kW de potência (4 cv), filtro de areia, filtro de discos, registros de gaveta e manômetro na saída do cabeçal. O conjunto conduzia a água até o tanque injetor de fertilizante, distante 50 m do cabeçal de controle, por uma tubulação de polietileno de 20 mm. Para a linha de gotejamento, foi utilizado tubo de polietileno de 12 mm. Nessa linha, foram conectados microtubos de polietileno de 4 mm de diâmetro interno e 40 cm de comprimento; na extremidade dos microtubos, foram acoplados gotejadores modelo KATIF, com compensador de pressão e vazão de 3,75 L h⁻¹, para a faixa de pressão de 10 a 40 m de coluna d'água (0,1 a 0,4 MPa), de acordo com o catálogo do fabricante PLASTRO GVAT. A pressão na linha de gotejamento foi de 2 kgf cm⁻² (0,2 MPa).

O experimento teve início no dia 19 de agosto de 2003 e constou de cinco tratamentos e cinco repetições, correspondendo a 25 pontos de gotejamento no solo. Para o estabelecimento das doses, tomaram-se como base as recomendações de adubação para a cultura da laranja no Estado de São Paulo (RAIJ et al., 1997) e os resultados da análise de solo. Conforme esses autores, supondo-se um pomar com produção de 31 a 40 t ha⁻¹ e teor de fósforo de 13 a 30 mg dm⁻³, utiliza-se de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o que representa aproximadamente 160 g planta⁻¹, para um pomar de espaçamento 7,0 x 4,5 m entre plantas (317 plantas ha⁻¹). Desejando-se doses menores e maiores que esse valor, os tratamentos definidos foram 0; 30; 60; 90 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Essas doses foram divididas em quatro aplicações, correspondendo aos valores apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Tratamentos empregados e doses aplicadas de P₂O₅ e H₃PO₄.

Tratamentos	P ₂ O ₅			H ₃ PO ₄	
	kg ha ⁻¹	g planta ⁻¹	g planta ⁻¹ aplicação ⁻¹	g planta ⁻¹	aplicação ⁻¹
T ₀	0	0	0	0	0
T ₁	30	95	24	46	46
T ₂	60	190	48	92	92
T ₃	90	285	72	138	138
T ₄	120	380	96	184	184

Em cada aplicação, as parcelas do tratamento T₀ receberam 20 L de água, e as parcelas dos demais tratamentos receberam 20 L da mistura de água e ácido fosfórico, totalizando 80 L após as quatro aplicações, procurando-se obter bulbo molhado com profundidade de aproximadamente 80 cm, baseando-se em resultados obtidos por ZANINI (1991).

O cálculo do tempo necessário para a realização das fertirrigações aos tratamentos foi baseado na equação que descreve a concentração de uma solução em sistema de fertirrigação, utilizando-se de tanque de derivação de fluxo, quando é estabelecida uma relação entre o volume que deve passar pelo tanque e o seu próprio volume (FAO, 1986):

$$C_t = C_0 e^{-x} \quad (1)$$

em que,

C_t - concentração da solução no tanque após o tempo t, mg L⁻¹ ou ppm;

C₀ - concentração inicial da solução colocada no tanque, mg L⁻¹ ou ppm, e

e - base do logaritmo neperiano.

sendo:

$$x = \frac{qt}{V} \quad (2)$$

em que,

q - vazão derivada ao tanque, L h⁻¹;

t - tempo decorrido após o início da aplicação, h, e

V - volume do tanque, L.

As fertirrigações foram feitas semanalmente (1^a: 25-8; 2^a: 1^o-9; 3^a: 8-9 e 4^a: 15-9), iniciando-as às oito horas da manhã. O tanque de fertilizante, com capacidade de 70 L, recebia aproximadamente 40 L de água e a quantidade total de ácido para cada aplicação (1.392 mL); em seguida, agitava-se para homogeneizar a solução ácida, completava-se o volume e fechava-se o tanque. Antes de iniciar a aplicação, todos os microtubos dos tratamentos (T₁, T₂, T₃ e T₄) eram abertos, com exceção do tratamento T₀. O registro de saída para o sistema era aberto, contando-se, a partir daí, o tempo para a aplicação do ácido em cada tratamento. Decorrido o tempo necessário para aplicação de ácido de cada tratamento, os gotejadores eram fechados, estrangulando-se rapidamente os microtubos, para que o gotejamento fosse interrompido simultaneamente para todas as parcelas de um mesmo tratamento.

Após as aplicações dos tratamentos que recebiam ácido, os gotejadores eram fechados e os tubos de descarga do tanque e da linha de gotejamento eram abertos, deixando o sistema aplicando somente água, para a lavagem do tanque e da tubulação, descartando-se o fluxo numa área distante das parcelas. Em seguida, procedia-se a aplicação do tratamento T₀, que recebia somente água (20 L), aplicando-se também o volume de água aos demais tratamentos para completar 20 L.

Taxa de emissão de CO₂ (ECO₂) e temperatura do solo (T_{solo})

As ECO₂ em cada tratamento foram medidas ao lado do gotejador, utilizando-se de uma câmara de fluxo de CO₂ (modelo Li 6400-09, Li-COR, NE, EUA; HEALY et al., 1996), previamente calibrada e acoplada a um sistema portátil de análise de fotossíntese (modelo LI-6400, LI-COR, NE, EUA) (Figura 1).

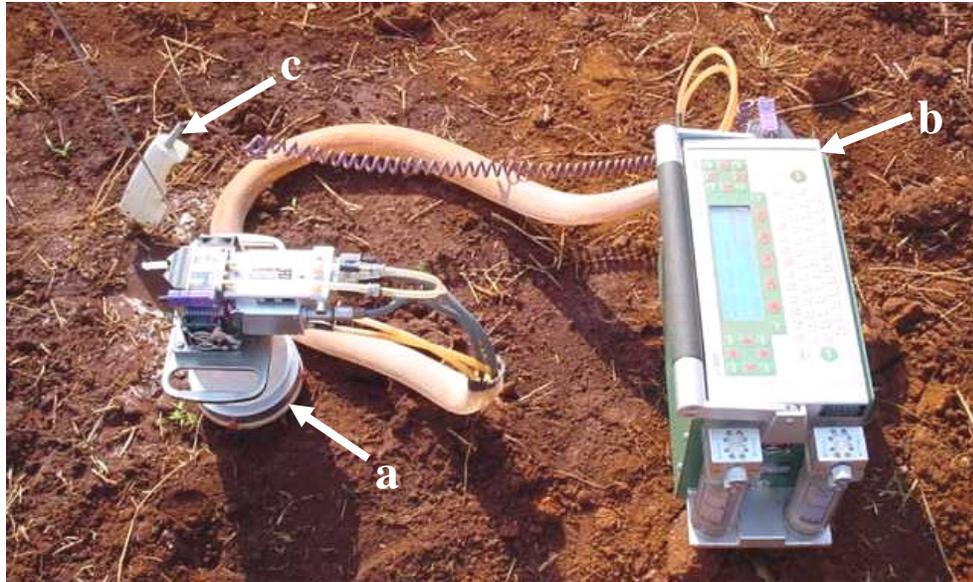


FIGURA 1. (a): Câmara portátil; (b): Sistema de análise de fotossíntese; (c): Termômetro.

Em cada parcela, foi instalado um colar de PVC, utilizado como suporte da câmara, e as medições realizadas por volta das 14 horas, sendo as taxas de emissão calculadas a cada três segundos e ajustadas linearmente contra a concentração de CO₂ no interior da câmara, computando-se um valor no final de 90 segundos, tempo total médio de cada medição em um ponto. Concomitantemente às leituras de ECO₂, foram realizadas medidas da temperatura do solo (T_{solo}) na camada superficial de 0-20 cm de profundidade, utilizando-se de um termômetro (termistor), que é parte integrante da câmara.

As leituras de ECO₂ foram realizadas anteriormente à aplicação dos tratamentos (1^a: 19-8) e logo após a aplicação dos mesmos: 2^a (26-8); 3^a (28-8), 4^a (29-8); 5^a (31-8); 6^a (2-9); 7^a (3-9); 8^a (16-9) e 9^a (17-9).

Análise estatística

O experimento foi montado seguindo o delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo empregado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias dos tratamentos e dos dias avaliados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, são apresentadas as ECO₂ nas parcelas irrigadas e fertirrigadas nos dias estudados. A análise de variância pelo teste de Tukey não mostrou diferenças significativas nas ECO₂ entre todos os tratamentos num mesmo dia e, conseqüentemente, não houve diferenças significativas entre as médias finais dos tratamentos (ao final do experimento).

TABELA 2. Valores médios da ECO₂ do solo (μmol m⁻²s⁻¹) para os tratamentos e dias estudados.

Dias	Tratamentos					Média*
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	
1 ^o	2,67	2,79	2,97	3,14	2,53	2,82 F
8 ^o	4,76	4,93	4,80	5,28	4,46	4,85 A
10 ^o	2,81	3,76	3,70	4,02	2,98	3,45 DE
11 ^o	3,61	3,94	3,54	3,55	3,33	3,59 DC
13 ^o	2,54	3,25	3,29	3,23	2,32	2,93 EF
15 ^o	4,00	4,64	4,09	4,54	3,65	4,18 BC
16 ^o	4,27	4,41	4,88	5,05	4,23	4,57 AB
29 ^o	3,41	3,90	3,83	4,12	3,47	3,75 DC
30 ^o	2,88	3,06	3,36	4,39	2,96	3,33 DEF
Média Final**	3,44a	3,85a	3,83a	4,15a	3,33a	
C.V. (%)	19,35	19,77	20,73	18,65	16,92	

C.V. = coeficiente de variação

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna, ou de mesma letra minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si.

A disponibilidade de fósforo nos solos pode ser um fator limitante da atividade microbiana. AMADOR & JONES (1993) e DUAH-YENTUMI et al. (1998) observaram aumentos na respiração e, conseqüentemente, na produção de CO₂ em solos, após adição desse nutriente. No entanto, nossos dados não revelaram influência da dose de fósforo aplicada na ECO₂, indicando que o fósforo não foi um fator limitante à atividade microbiana. Isso deve ter ocorrido porque os teores no solo, anteriormente às aplicações, eram de 19 mg dm⁻³ na camada de 0-20 cm e 7 mg dm⁻³ na camada de 20-40 cm de profundidade. Conforme RAIJ et al. (1997), o teor de 19 mg dm⁻³ está compreendido na faixa de teores médios para culturas perenes e anuais e na faixa de teores altos para culturas florestais.

Por outro lado, diferenças temporais nas taxas de emissões foram observadas, tendo sido colocado o resultado da comparação da média geral dos tratamentos. A comparação das médias do 1^o ao 30^o dia (p < 0,05) indica que a diferença na ECO₂, ao longo do tempo, sempre foi significativa, quando entre os dias comparados foram conduzidas as fertirrigações, como é o caso da emissão do 1^o dia comparada com a do 8^o dia (Figura 2).

Na Figura 2, são apresentados os valores médios da ECO₂ e da T_{solo} para os dias estudados, sendo esses valores ligados por linhas retas para facilitar a interpretação da figura. As linhas verticais pontilhadas indicam quando foram aplicadas as fertirrigações: 7^o; 14^o; 21^o e 28^o dias após o início do experimento. Ressalta-se que a ausência de dados entre a 3^a e a 4^a aplicação ocorreu devido ao problema com o aparelho de medição nessa época.

Pela Figura 2, fica claro que a irrigação provoca mudança significativa na emissão, podendo-se verificar que as taxas de emissão tiveram grandes flutuações entre os dias estudados, com aumentos significativos após as duas primeiras fertirrigações. Esses resultados, indicando aumento da ECO₂ após irrigação, estão de acordo com os obtidos por CALDERÓN & JACKSON (2002), que, após 0,8 hora, obtiveram aumento da ECO₂ de até seis vezes. SMART & PEÑUELAS (2005), realizando uma simulação de chuva de 40 mm, verificaram imediato aumento de até dez vezes na ECO₂, como resultado do preenchimento do espaço poroso do solo pela água; porém, quatro horas após o molhamento, as taxas de emissão retornaram a valores iguais ou menores aos observados anteriormente à irrigação. As taxas de emissão no 8^o e no 15^o dia foram bem superiores àquelas que as precederam, do 1^o e do 13^o dia, respectivamente. Porém, após o 15^o dia, não houve tendência de aumento da ECO₂ após os eventos de fertirrigação (aplicações 3 e 4), como aconteceu após as duas primeiras aplicações. A não-ocorrência de aumento das ECO₂ após as aplicações do 16^o ao 30^o dia

pode advir de uma diminuição do coeficiente de difusão molecular do CO₂ no interior do solo, devido ao maior preenchimento dos espaços porosos pela água (HILLEL, 1998; NAZAROFF, 1992). É interessante notar que, nesse mesmo período, a variação da ECO₂ acompanhou a tendência de variação da T_{solo}.

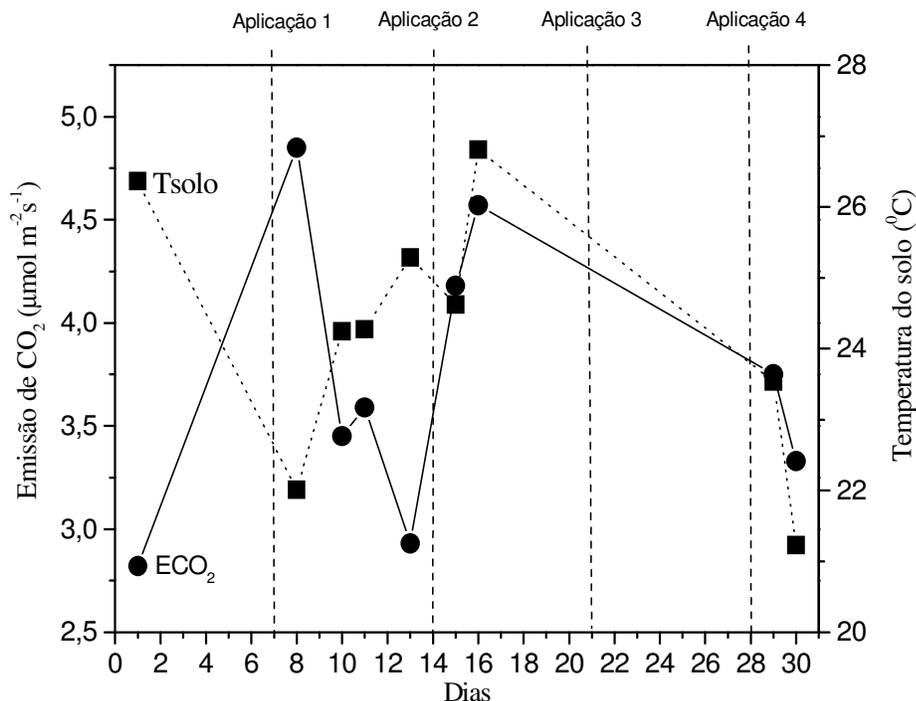


FIGURA 2. Emissão de CO₂ (ECO₂) e temperatura do solo (T_{solo}) nos dias estudados.

A dependência da ECO₂ à T_{solo} é um assunto de grande interesse, sendo utilizada em modelos analíticos e estatísticos nas previsões da emissão desse gás em solos de ambientes diversos (EDWARDS, 1975; COOK & ORCHARD, 1983; MONCRIEFF & FANG, 2001; SUBKE et al., 2003). Porém, o fato interessante indicado na Figura 2 é que as variações na ECO₂ seguiram as flutuações da T_{solo}, somente após as aplicações das duas primeiras fertirrigações.

Nas Figuras 3 e 4, são apresentadas as ECO₂ do solo em função da temperatura do mesmo, em dois períodos distintos. O período 1 compreende do 1^o até o 13^o dia, e o período 2 corresponde ao intervalo do 15^o ao 30^o dia. Na Figura 3, observa-se que houve correlação negativa entre a ECO₂ e a T_{solo} no período 1. A regressão linear foi significativa (P < 0,01), com alto coeficiente de determinação (R² = 0,94), sendo a ECO₂, nesse intervalo, descrita como função da temperatura do solo, a partir da equação:

$$ECO_2 \text{ (Período 1)} = 15,463 - 0,488T_{\text{solo}} \quad (3)$$

em que,

ECO₂ - taxa de emissão de CO₂ do solo, μ mol m⁻²s⁻¹, e

T_{solo} - temperatura do solo, °C.

A eq.(3) indica que 94% da variabilidade temporal da ECO₂ do solo, ao longo do período 1, pode ser explicada somente com a variabilidade da T_{solo} nesse período. Essa equação ainda apresenta dependência negativa entre a ECO₂ e a T_{solo}, indicando que quanto maior a temperatura do solo, menor foi a emissão ao longo do período. Tal correlação negativa entre essas características não é comumente citada, sendo referenciada em poucos trabalhos conduzidos em regiões com condições muito secas, onde a umidade do solo era o fator limitante (BUNNELL et al., 1977; HOWARD & HOWARD, 1993; WICHERN et al., 2004).

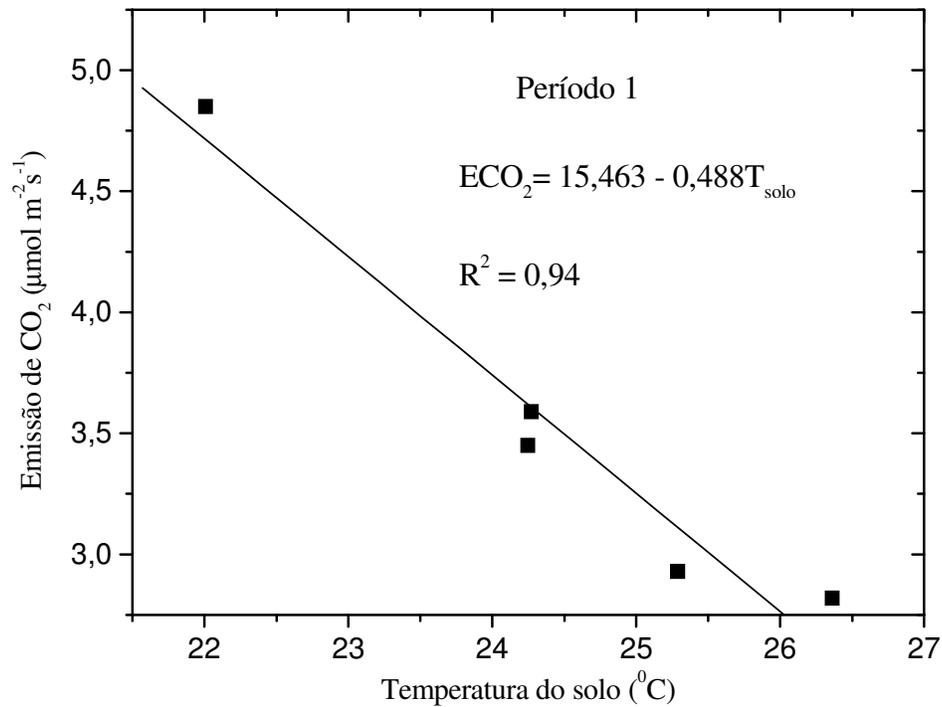


FIGURA 3. Regressão linear entre a ECO₂ e a T_{solo} para o período 1: do 1^o ao 13^o dia.

Na Figura 4, observa-se que, no período 2 (15^o ao 30^o dia), a ECO₂ do solo correlacionou-se positivamente com sua temperatura. A eq.(4) foi obtida com a regressão linear entre a emissão e a temperatura nesse período, sendo:

$$ECO_2 \text{ (Período 2)} = -1,546 + 0,229T_{\text{solo}} \quad (4)$$

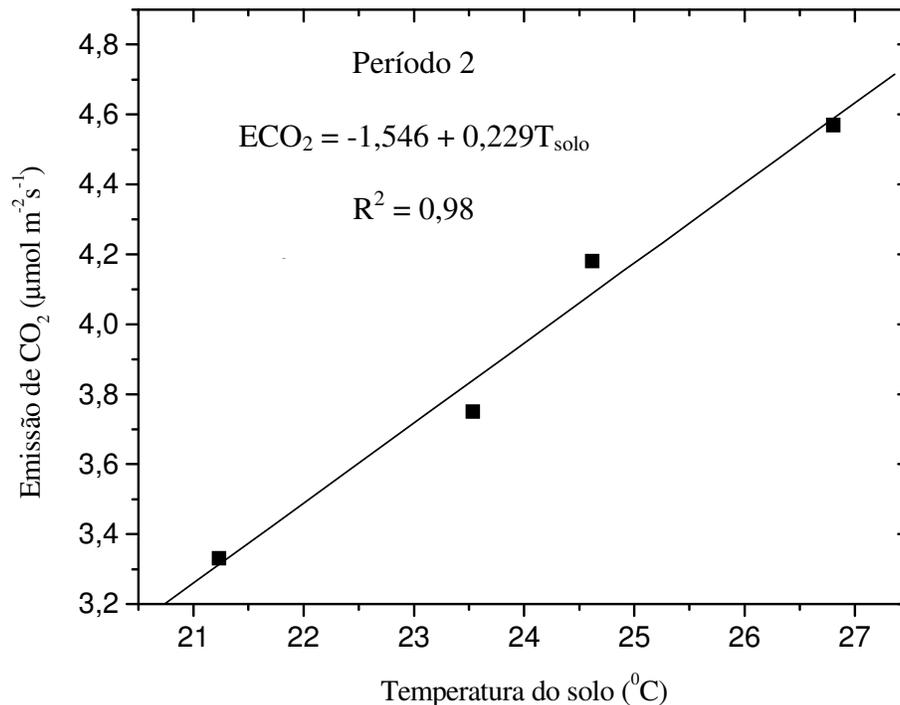


FIGURA 4. Regressão linear entre a ECO₂ e a T_{solo} para o período 2: do 15^o ao 30^o dia.

A eq.(4) foi obtida com coeficiente $R^2 = 0,98$, indicando que 98% da variabilidade temporal da ECO_2 pode ser explicada somente pela variabilidade da T_{solo} naquele período, e a dependência entre a ECO_2 e a T_{solo} apresentou correlação positiva.

Levando-se em conta que o raio médio dos bulbos molhados na superfície do solo era em torno de 25 cm e que em cada evento de fertirrigação foram aplicados 20 L por gotejador, em cada ponto de gotejamento a lâmina de água para cada evento de fertirrigação foi de 102 mm. Esse valor é muito superior às precipitações pluviais da região e da época em que este estudo foi conduzido. O inverno foi caracterizado por um período muito seco, para o qual somente após duas aplicações da fertirrigação é que ocorreu mudança na dependência da emissão em relação à temperatura do solo, passando de correlação negativa para positiva. Assim, pelos resultados, observa-se que, no início do experimento, o fator limitante para a atividade dos microorganismos, os quais têm alta participação na respiração do solo, foi a umidade. Desse modo, após as duas primeiras irrigações, a taxa de emissão de CO_2 aumentou e, devido à evaporação da água do solo, a temperatura do mesmo diminuiu. Para o período 2, provavelmente, o solo atingiu umidade favorável à atividade microbiana, e a ECO_2 correlacionou-se positivamente com a temperatura. Portanto, uma correlação negativa entre a emissão de CO_2 e a temperatura do solo deve ocorrer frequentemente em períodos secos, principalmente em solos desprovidos de vegetação da região, onde este estudo foi realizado.

CONCLUSÕES

Não houve efeito significativo da aplicação do ácido fosfórico sobre a taxa de emissão de CO_2 do solo.

A quantidade de água aplicada sobre o solo foi decisiva no comportamento da emissão de CO_2 em função da temperatura do mesmo, passando de uma correlação negativa para uma positiva, a partir da aplicação de 40 L.

A aplicação de água em solos desprovidos de vegetação, onde o estudo foi realizado, foi mais limitante à emissão de CO_2 do que o teor de fósforo do solo.

AGRADECIMENTO

À Empresa FERTIBRÁS S.A. (Araraquara - SP), pelo fornecimento do ácido fosfórico.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M.E.B. *Respostas do cafeeiro (Coffea arábica L.) a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação*. 1999. 94 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- AMADOR, J.A.; JONES, R.D. Nutrient limitations on microbial respiration in peat soils with different total phosphorus content. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, New York, v.25, n.6, p.793-801, 1993.
- ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. *Anais...* Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 1 CD ROM.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.54, n.2, p.101-9, 2000.
- BUNNELL, F.L.; TAIT, D.E.N.; FLANAGAN, P.W.; CLEVE, K. van. Microbial respiration and substrate weight loss – I: A general model of the influences of abiotic variables. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v.9, n.1, p.33-40, 1977.

- CALDERÓN, F.J.; JACKSON, L.E. Rototillage, disking, and subsequent irrigation: effects on soil dynamics, microbial biomass, and carbon dioxide efflux. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.31, n.3, p.752-8, 2002.
- COOK, F.J.; ORCHARD, V.A. Relationship between soil respiration and soil moisture. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v.15, n.4, p.447-53, 1983.
- DUAH-YENTUMI, S.; RONN, R.; CHRISTENSEN, S. Nutrients limiting microbial growth in a tropical forest soil of Ghana under different management. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v.8, n.1, p.19-24, 1998.
- EDWARDS, N.T. Effects of temperature and moisture on carbon dioxide evolution in a mixed deciduous forest floor. *Soil Science Society America Proceedings*, Knoxville, v.39, n.2, p.361-5, 1975.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 412 p.
- EVE, M.D.; SPEROW, M.; HOWERTON, K.; PAUSTIAN, K.; FOLLETT, R.F. Predicted impact of management changes on soil carbon storage for each cropland region of the conterminous United States. *Journal of Soil and Water Conservation*, Iowa, v.57, n.4, p.196-204, 2002.
- FOOD AGRICULTURAL ORGANIZATION. *Riego localizado*. Roma: 1986. 203 p. (Publicación 36).
- HEALY, R.W.; STRIEGL, R.G.; RUSSEL, T.F.; HUTCHINSON, G.L.; LIVINGSTON, G.P. Numerical evaluation of static-chamber measurements of soil-atmosphere gas exchange: identification of physical processes. *Soil Science Society of America Journal*, Netherlands, v.60, n.3, p.740-7, 1996.
- HILLEL, D. *Environmental Soil Physics: fundamentals, applications, and environmental considerations*. San Diego: Academic Press. 1998. 771 p.
- HOWARD, D.M.; HOWARD, P.J.A. Relationships between CO₂ evolution, moisture content and temperature for a range of soil types. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v.25, n.11, p.1537-46, 1993.
- LA SCALA JÚNIOR, N.; LOPES, A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Carbon dioxide emissions after application of tillage systems for a dark red latossol in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.62, n.4, p.163-6, 2001.
- LAL, R. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Critical Review in Plant Science*, Boca Raton, v.22, n.2, p.151-84, 2003.
- MONCRIEFF, J. B.; FANG, C. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology & Biochemistry*, Australia, v.33, n.33, p.155-65, 2001.
- NAZAROFF, W.W. Radon transport from soil to air. *Reviews of Geophysics*, Washington, v.30, n.3, p.137-160, 1992.
- PRIOR, S.A.; REICOSKY, D.C.; REEVES, D.W.; RUNION, G.B.; RAPER, R.L. Residue and tillage effects on planting implement-induced short-term CO₂ and water loss from a loamy sand soil in Alabama. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.54, n.4, p.197-9, 2000.
- 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. Rev. Atual. Campinas: IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).
- REICOSKY, D.C.; LINDSTROM, M.J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. *Agronomy Journal*, Madison, v.85, n.6, p.1237-43, 1993.

RIETZ, D.N.; HAYNES, R.J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology & Biochemistry*, Australia, v.35, n.6, p.845-54, 2003.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A. Soil surface carbon dioxide fluxes induced by spring, summer and fall moldboard plowing in a sandy loam. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.63, n.4, p.621-8, 1999.

SMART, D.R.; PEÑUELAS, J. Short-term CO₂ emissions from planted soil subject to elevated CO₂ and simulated precipitation. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v.28, p.247-57, 2005.

SUBKE, J.A.; REICHSTEIN, M.; TENHUNEN, J.D. Explaining temporal variation in soil CO₂ efflux in a mature spruce forest in Southern Germany. *Soil Biology & Biochemistry*, Australia, v.35, n.11, p.1467-83, 2003.

ZANINI, J.R. Distribuição de água e de íon K⁺ no solo, aplicados por fertirrigação em gotejamento. I - Formação do bulbo molhado (1^a parte). *Revista ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna*, Brasília, n.45, p.13-24, 1991.

WICHERN, F.; LUEDELING, E.; MÜLLER, T.; JOERGENSEN, R. G.; BUERKERT, A. Field measurements of the CO₂ evolution rate under different crops during an irrigation cycle in a mountain oasis of Oman. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v.25, n.1, p.85-91, 2004.