



16447 - Emissão de CO₂ Associada ao Manejo e Atributos do Solo em Áreas de Cana-de-açúcar no Interior de São Paulo

CO₂ Emission Associated the Management and Soil Attributes in Areas of Sugar Cane in the Inside of São Paulo

MOITINHO, Mara Regina¹; TEIXEIRA, Daniel De Bortoli²; ALMEIDA, Risely Ferraz³; PADOVAN, Milton Parron⁴; LA SCALA, Newton⁵

¹Universidade Estadual Paulista (UNESP). Departamento de Ciências Exatas, Jaboticabal, SP, maramoitinho@gmail.com; ²Universidade Estadual Paulista (UNESP). Departamento de Solos e Adubos, Jaboticabal, SP, daniel.dbt@hotmail.com; ³Universidade Estadual Paulista (UNESP). Departamento de Ciências Exatas, Jaboticabal, SP, rizely@gmail.com; ⁴Embrapa Agropecuária Oeste, Programas de Pós-Graduação em Agronegócios e em Biologia Geral/Bioprospecção da Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, milton.padovan@embrapa.br; ⁵Universidade Estadual Paulista (UNESP). Departamento de Ciências Exatas, Jaboticabal, SP, lascala@fcav.unesp.br

Resumo: Com o presente trabalho objetivou-se caracterizar a emissão de CO₂ (FCO₂) e sua relação com os atributos do solo em áreas sob sistemas de manejo de cana crua e queimada e pós reforma do canavial no interior de São Paulo. Foram utilizados três talhões vizinhos, representando os sistemas de manejo da cana-de-açúcar: cana crua, cana queimada e pós reforma. Foram avaliadas a FCO₂ (sistema portátil da companhia LI-COR 8100), a temperatura do solo (termistor portátil) e a umidade do solo (sistema portátil TDR), ao final destas, foram realizadas coletas de solo para determinação dos atributos físicos e químicos do solo. A FCO₂ foi maior na área de reforma, relacionada diretamente a temperatura, porosidade livre de água e a acidez potencial do solo. Na área de cana queimada os maiores valores da FCO₂ foram relacionados aos macroporos, volume total de poros e a CTC do solo. Na área de cana crua o maior teor de água no solo e a densidade foram fatores limitantes da respiração do solo, propiciando uma redução na FCO₂ nesta área.

Palavras-chave: Componentes principais; manejo da cana-de-açúcar; propriedades do solo; respiração do solo; transição agroecológica.

Abstract: The present work aimed to characterize the CO₂ emission (FCO₂) and their relationship with soil properties in sugarcane areas submitted to burned and green management systems and post reform in São Paulo. Three neighboring plots were used, representing the management systems of sugar cane: green, burned sugar cane burning and post reform. Were evaluated FCO₂ (portable system company LI-COR 8100), soil temperature (portable thermistor) and soil moisture (TDR portable system), at the end of these, samplings of soil were carried out to determine the physical and chemical attributes soil. The FCO₂ was higher in the area of reform, directly related to temperature, porosity-free water and the potential soil acidity. In the area of burned sugar cane, higher values of FCO₂ were related to macropores, total pore volume and the soil CEC. In the area of green sugar cane, the higher water content in the soil and the density were limiting factors of soil respiration, providing a reduction in FCO₂ this area.



Keywords: principal components, management of sugar cane, soil properties, soil respiration, agroecological transition.

Introdução

A concentração de dióxido de carbono (CO_2) e de outros gases de efeito estufa (GEE), como o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) na atmosfera tem aumentado, consideravelmente, desde a revolução industrial, embora o potencial de aquecimento global do CH_4 e do N_2O serem em torno de 23 e 298 vezes maior que o de CO_2 , respectivamente (CERRI et al., 2007), o CO_2 é o que mais contribuiu em termos relativos para o efeito estufa adicional nos últimos 200 anos, devido à grande quantidade emitida na atmosfera (IPCC, 2007).

A maior parcela dessas emissões é proveniente das mudanças no uso da terra, em particular da conversão de áreas com vegetação natural para pastagem e agricultura (CERRI et al., 2007), além de manejos do solo com intenso revolvimento (REICOSKY; ARCHER, 2007; SCHWARTZ et al., 2010).

O CO_2 emitido dos solos agrícolas é resultante de interações entre o clima e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, tais como a densidade do solo (TEIXEIRA et al., 2012), a textura e a porosidade livre de água (PANOSSO et al., 2011), o preenchimento de água nos poros (SMART; PEÑUELAS, 2005; LIN, DORAN, 1984), a temperatura do solo (USSIRI; LAL, 2009) e a umidade do solo (LA SCALA, et al., 2006; MOITINHO et al., 2013).

O Brasil é o maior produtor mundial da cultura da cana-de-açúcar. A área cultivada que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2013/2014 está estimada em 8.893,0 mil hectares, distribuídas em todos estados produtores. O estado de São Paulo é o maior produtor com 51,3% (4.560,88 mil hectares) da área plantada, seguido por Minas Gerais com 9,31% (827,97 mil hectares) e Goiás com 9,3% (827,03 mil hectares). Houve uma expansão da área plantada com a cultura, principalmente na região Centro-Sul do país. A previsão é de um acréscimo de 408 mil hectares de áreas destinadas à produção da cana-de-açúcar, em relação à safra de 2012/13 (CONAB, 2014).

Diante do crescimento acelerado do setor sucroenergético e da grande preocupação com os impactos oriundos de práticas de cultivo e manejo dos solos para uso agrícola, estudos diversos têm-se concentrado nos sistemas de produção da cana-de-açúcar (LA SCALA et al., 2006; PANOSSO et al., 2011; TEIXEIRA et al., 2012; MOITINHO et al., 2013). Embora o setor represente uma importante fonte de GEE, o mesmo pode se comportar como dreno desses gases dependendo das práticas adotadas de manejos do solo e da cultura.

A prática da queima dos canaviais ainda é adotada nas diversas regiões canavieiras do país. O canavial é queimado alguns dias antes da operação de colheita manual



com o objetivo de diminuir a quantidade de palha e, desta forma, facilitar as operações de corte e o carregamento mecânico. Entretanto, essa prática causa grandes emissões de GEE e partículas nocivas para a atmosfera (LIMA, 1999). Neste sentido, as mudanças nas práticas de manejo da cultura com a conversão de grandes áreas de um sistema de manejo com queima do canavial para a colheita mecanizada sem queima têm sido consideradas mais importante que a expansão agrícola da cana-de-açúcar (CERRI et al., 2007). Neste contexto, o sistema de colheita de cana crua torna-se eficiente no processo de mitigação da emissão de CO₂, pois o carbono que seria emitido imediatamente para a atmosfera durante a queima do canavial, poderá permanecer no sistema, e assim ser incorporado ao solo (RONQUIM, 2007).

A cana-de-açúcar é uma planta muito eficiente na utilização e resgate do CO₂ atmosférico. Essa cultura tem a capacidade de retirar da atmosfera e incorporar em sua fitomassa uma grande quantidade de CO₂, em torno de 100 t há⁻¹ ano⁻¹, o equivalente a cerca de 30 t há⁻¹ ano⁻¹ de carbono. Se parte desse carbono ficar acumulada no solo através da matéria orgânica por um longo período, o sistema passa a funcionar como coletor líquido para o sequestro de CO₂ atmosférico (RONQUIM, 2007).

Contudo, La Scala et al. (2012) concluem que, apesar de o sistema de manejo de cana crua contribuir para que grandes quantidades de carbono sejam depositadas na superfície do solo por diversas safras, no processo de reforma do canavial, grande parte desse carbono pode ser perdida em curto período de tempo (LA SCALA et al., 2006; REICOSKY; ARCHER, 2007; SCHWARTZ et al., 2010), reduzindo o potencial de sequestro de carbono neste agrossistema.

Com o presente trabalho objetivou-se caracterizar a emissão de CO₂ e sua relação com os atributos do solo em áreas sob sistemas de manejo de cana crua, cana queimada e após a reforma do canavial no interior de São Paulo.

Metodologia

Caracterização das áreas de estudo e metodologia de amostragem de dados

O estudo foi conduzido em áreas agrícolas pertencente à Usina São Martinho, estas áreas são destinadas à produção de cana-de-açúcar por mais de 35 anos e estão localizadas na Fazenda Barrinha, no município de Barrinha, São Paulo. As coordenadas geográficas da área são 21° 13' de latitude sul e 48° 07' de longitude oeste, com elevação média de 555 m acima do nível do mar. O solo segundo a classificação proposta pela Embrapa (2006) é caracterizado por Latossolo Vermelho eutrófico, e relevo com declividades menor que 0,5%. O clima da região é classificado como Aw (de acordo com Köppen), tropical de verão chuvoso e inverno seco.



Previamente as operações de preparo, foi realizada a eliminação mecânica da soqueira, a operação foi realizada com um implemento constituído de enxadas rotativas. Após a eliminação mecânica da soqueira foram realizados em sequência: calagem, gessagem e passagem de grade niveladora. A operação de preparo do solo constituiu na utilização de uma grade intermediária de arrasto de dupla ação deslocada, com 28 discos de 28" do tipo recortado, sendo 14 discos na seção dianteira e 14 na seção traseira. A largura do trabalho do implemento é de 3,5 m e a profundidade de trabalho de 0,25 m, sendo realizadas duas passadas com grade a uma velocidade média de aproximadamente 7 Km h⁻¹, a segunda imediatamente após a primeira de forma a simular o efeito da grade aradora.

Adjacente a área de reforma foram utilizados dois talhões vizinhos, apresentando diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar: cana crua com histórico de oito anos sem queima do canavial, com grande quantidade de resíduos da cultura (em média 13 t ha⁻¹), deixados sobre a superfície do solo após a colheita mecanizada. E cana queima com histórico de cultivo de cana desde 1970, com queima do canavial e colheita manual.

Avaliação da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo

Para as avaliações, foram marcados 20 pontos (em cada área avaliada, totalizando 60 pontos amostrais) e inseridos colares de PVC com espaçamento mínimo de 5 m entre os colares, que foram distribuídos aleatoriamente nas respectivas áreas: reforma, cana crua e cana queimada. Na área de reforma as avaliações foram conduzidas duas semanas após as operações de preparo do solo. Nas áreas de cana crua e cana queimada as avaliações foram conduzidas nos estágios iniciais do crescimento da cultura da cana-de-açúcar.

Foram 10 dias de avaliações, correspondentes aos dias 24; 26 e 30 de setembro de 2013 e 03; 07; 10; 14; 16; 18 e 21 de outubro de 2013, conduzidas durante o horário matutino, das 8 às 10h50. A emissão de CO₂ do solo (FCO₂) foi registrada utilizando-se de um sistema portátil da companhia LI-COR (LI-8100), Nebraska EUA. Esse sistema consiste em uma câmara fechada, acoplada sobre os colares anteriormente inseridos no solo, em cada ponto amostral. Em seu modo de medição, o sistema monitora as mudanças na concentração de CO₂ dentro da câmara, por meio de espectroscopia de absorção óptica na região do infravermelho (IRGA Infrared Gas Analyzer). Concomitantemente às leituras de emissão de CO₂, foram conduzidas avaliações da temperatura do solo na camada de 0-20 cm de profundidade, utilizando-se de um termômetro (termistor portátil), que é parte integrante do sistema ao qual a câmara para solos é acoplada. A umidade do solo também foi avaliada em todos os pontos, utilizando-se de um sistema portátil TDR-Campbel® (Hydrosense TM, Campbell Scientific, Australia), que avaliou a umidade disponível do solo (% em volume) na camada de 0-20 cm.

Determinação dos atributos físicos e químicos do solo

A amostragem do solo foi realizada entre os dias 23 e 25 de outubro de 2013, na camada de 0 a 20 cm de profundidade e realizada próxima a cada ponto amostral onde a emissão de CO₂ do solo foi avaliada, em ambas as áreas. Para a análise química, as amostras foram coletadas em cada ponto amostral e posteriormente enviadas ao laboratório de solos da Usina São Martinho para a determinação dos atributos químicos e físicos do solo (EMBRAPA, 1997). A porosidade livre de água (PLA) foi calculada pela diferença entre a fração da porosidade preenchida por água, determinada pela umidade do solo e o volume total de poros (VTP).

Processamento de dados e análise estatística

Os resultados foram apresentados em termos da estatística descritiva (média, erro-padrão da média e coeficiente de variação). A diferença entre as médias dos atributos do solo para os sistemas de manejo foram testadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os atributos físicos e químicos analisados foram selecionados pela análise de componentes principais (correlações $> 0,70$ em valor absoluto). A análise de componentes principais é uma técnica multivariada exploratória que condensa a informação contida num conjunto de variáveis originais em um conjunto de menor dimensão composto de novas variáveis latentes, preservando quantidade relevante da informação original. As novas variáveis são os autovetores (componentes principais) gerados por combinações lineares das variáveis originais construídos com os autovalores da matriz de covariância (HAIR et al., 2005). Após padronização dos dados (média nula e variância unitária), as análises foram conduzidas no programa STATISTICA 7.0 (StatSoft. Inc., Tulsa, OK, USA). Simultaneamente às análises estatísticas, as pressuposições básicas da análise de variância, normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias foram testadas para todas as propriedades avaliadas (dados não apresentados).

Resultados e discussões

Ambas as áreas diferiram ($p < 0,05$) em relação à FCO₂, a área de reforma apresentou o maior valor médio ($3,27 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), seguida pela área de cana queimada ($2,24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e pela área de cana crua com o menor valor ($1,85 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). O mesmo ocorreu com a temperatura do solo, a área de reforma apresentou o maior valor médio ($22,77 \text{ }^\circ\text{C}$) e a área de cana crua o menor valor ($19,18 \text{ }^\circ\text{C}$). Em adição quando observada a umidade do solo, as posições se invertem, a área de cana crua apresentou o maior valor médio ($25,07\%$) e a área de reforma o menor valor ($16,02\%$) seguida pela área de cana queimada ($16,08\%$) (Tabela 1).

Os diferentes comportamentos em relação a estes três atributos é facilmente compreendido quando analisamos as características das áreas em estudo. A exemplo da área de cana crua quando comparada as demais áreas, a manutenção dos resíduos da cultura sobre a superfície do solo preserva a umidade, proporcionando um isolamento térmico (USSIRI; LAL, 2009; PANOSSO et al., 2011), reduzindo as temperaturas máximas diárias e elevando as temperaturas mínimas,

em relação a solos sem cobertura vegetal. Dependendo da quantidade e da distribuição da cobertura vegetal no solo, a temperatura da superfície pode ser reduzida em até 4 °C; com uma cobertura de aproximadamente 70%, a taxa de evaporação do solo se reduz para cerca de 25% (TOMINAGA et al., 2002).

O efeito proporcionado pela cobertura do solo na redução da temperatura é um fator controlador da FCO₂, uma vez que a atividade microbiana é acelerada com aumentos na temperatura do solo, e conseqüentemente a taxa de mineralização do carbono é maior (USSIRI; LAL, 2009).

Tabela 1. Estatística descritiva da emissão de CO₂, temperatura, umidade e atributos físicos e químicos do solo nos sistemas de cana crua, cana queimada e reforma.

Atributos	Reforma			Cana queimada			Cana crua		
	Média	EP	CV	Média	EP	CV	Média	EP	CV
FCO ₂ *	3,27 a	0,16	20,9	2,24 b	0,10	20,8	1,85 c	0,05	13,9
Temperatura*	22,77 a	0,06	1,2	21,81 b	0,05	1,0	19,18 c	0,05	1,3
Umidade*	16,02 b	0,16	4,4	16,08 b	0,32	8,9	25,07 a	0,34	6,2
Densidade	1,28 a	0,02	6,1	1,11 b	0,02	6,9	1,31 a	0,03	10,4
Macro	12,44 b	1,08	38,9	19,88 a	0,83	18,7	11,43 b	1,17	45,8
VTP	52,36 b	0,52	4,4	56,31 a	0,41	3,3	51,22 b	0,94	8,2
PLA	40,30 a	0,45	5,0	36,41 b	0,49	6,0	26,16 c	1,03	17,6
Argila	58,44 b	0,80	6,2	64,11 a	0,26	1,8	63,56 a	0,28	1,9
pH	4,96 b	0,05	4,5	5,14 a	0,03	2,7	5,18 a	0,03	2,4
H+Al	53,95 a	2,35	19,5	40,19 b	0,85	9,5	39,40 b	0,77	8,8
SB	38,46 b	2,86	33,2	70,55 a	0,80	5,0	64,97 a	0,96	6,6
CTC	82,31 b	2,46	13,3	118,21 a	1,43	5,3	107,24 b	0,98	4,1
V%	46,05 b	2,35	22,7	59,81 a	0,85	6,3	60,59 a	0,77	5,7

*N = 180; N = 20; FCO₂ = emissão de CO₂ do solo (μmol m⁻²s⁻¹); Temperatura (°C) = temperatura do solo; Umidade = umidade do solo (%); Densidade = densidade do solo (g cm⁻³); Macro = macroporosidade do solo (%); VTP = volume total de poros (%); PLA = porosidade livre de água (%); Argila = teor de argila do solo (%); pH = potencial hidrogeniônico; H+Al = acidez potencial (mmolc dm⁻³); SB = Soma de bases (mmolc dm⁻³); CTC = Capacidade de troca catiônica (mmolc dm⁻³) e V% = saturação por bases. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A FCO₂ foi 43,4% e 17,4% menor na área de cana crua quando comparadas as área de reforma e cana queimada, respectivamente, assim, pode-se inferir que a retirada da palha residual da cana-de-açúcar favorece maiores emissões de CO₂ em relação ao manejo com a presença da palha. Em adição, quando se retira a palha e prepara o solo a FCO₂ é ainda maior, a exemplo da área de reforma.

Outros autores, estudando a emissão de CO₂ do solo em áreas de cana-de-açúcar com colheita de cana crua, também observaram que a FCO₂ é significativamente menor no sistema de manejo onde os resíduos são deixados sobre o solo (LA SCALA et al., 2006; PANOSSO et al., 2011; MOITINHO et al., 2013), sendo este,

também, o manejo que contribuiu para que maiores quantidades de carbono sejam armazenadas nas camadas mais superficiais do solo (RONQUIM, 2007).

Em adição, a desestruturação física do solo associada ao preparo na área de reforma, induz a maiores emissões de CO₂, principalmente nas primeiras horas, isso se deve à intensa atividade de revolvimento do solo que acarreta o rompimento dos agregados do solo e parte do carbono anteriormente protegido em seu interior é exposta à ação microbiana, tornando-o mais suscetível à mineralização (REICOSKY; ARCHER, 2007; SCHWARTZ et al., 2010). Após as operações de preparo, aumenta-se a temperatura e a aeração do solo e, conseqüentemente, ocorre maior acessibilidade ao oxigênio, necessário para a atividade dos microorganismos aeróbicos na decomposição da matéria orgânica do solo (GESCH et al., 2007).

As interações entre os atributos e as áreas em estudo, podem ser observadas no plano bidimensional (Figura 1) gerado com os dois primeiros componentes principais CP1 e CP2 que respondem por 75,74% da informação original: 45,67% no Componente Principal 1 (CP1) e 30,07% no Componente Principal 2 (CP2) e as correlações são apresentadas na tabela 2.

No primeiro componente principal e por ordem de importância, os atributos que apresentaram maiores coeficientes de correlação foram: SB (-0,93), H+Al (0,92), V% (-0,91), PLA (0,89), CTC (-0,79), FCO₂ (0,79), pH (-0,76), temperatura do solo (0,76), umidade do solo (-0,75), e Argila (-0,72). No segundo componente principal, têm-se os atributos macro (-0,91), VTP (-0,90) e densidade (0,78) (Tabela 2). Os atributos mais expressivos retidos em CP1 estão relacionados ao processo de emissão de CO₂ do solo. Quando possuem o mesmo sinal estão relacionados diretamente, quando com sinais contrários possuem uma relação inversa.

Com relação aos atributos (SB, V%, CTC, pH, umidade e argila) por possuírem sinal contrário a FCO₂ à medida que tais atributos aumentam no solo a FCO₂ diminui e vice versa. Observando a tabela 1, as áreas que apresentaram a maior quantidade desses atributos são as áreas de cana crua e cana queimada, com exceção da umidade que foi significativamente maior somente na área de cana crua. Observa-se também estas associações na figura 1, estes atributos são responsáveis por distinguir as áreas de cana queimada e cana crua, da área de reforma. A direção oposta no plano bidimensional no qual a área de reforma se encontra em relação as áreas de cana crua e cana queimada, indica que são áreas totalmente distintas, apresentando comportamentos divergentes em relação aos atributos avaliados.

Já em relação aos atributos também retidos em CP1, mas localizados na extremidade oposta do plano bidimensional (H+Al, PLA e temperatura), estes possuem uma relação direta com a FCO₂, por possuírem o mesmo sinal (Figura 1 e Tabela 2); visualizando a tabela 1, é possível observar que os valores médios destes atributos são significativamente maiores na área de reforma (Tabela 1), portanto

podemos concluir que, a H+Al, a PLA a temperatura do solo e a FCO₂ são responsáveis por caracterizar a área de reforma (Figura 1).

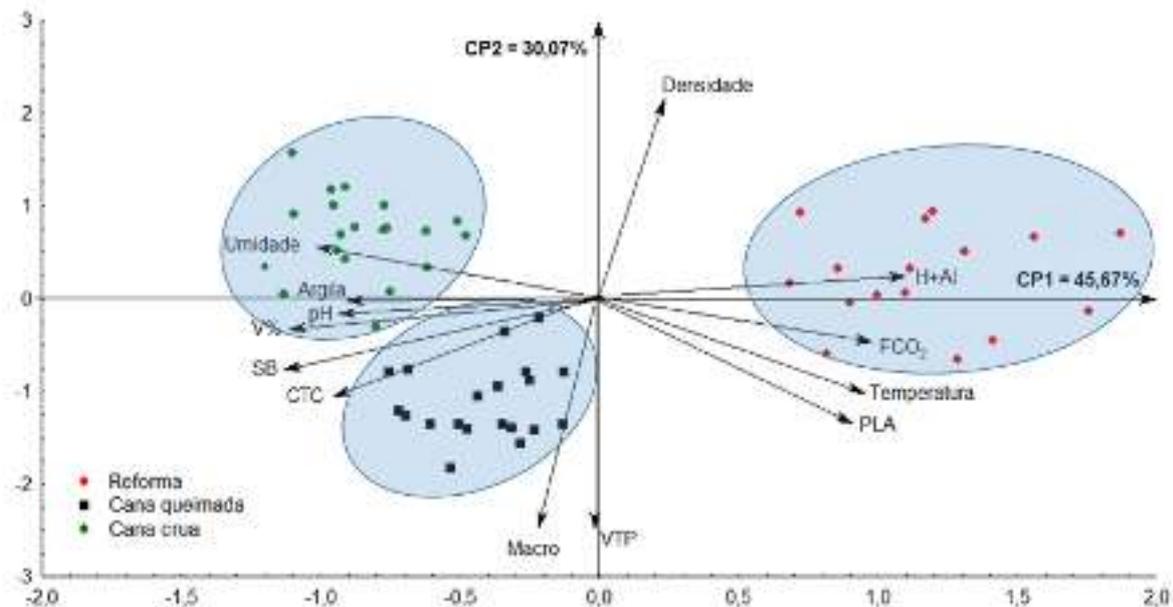


Figura 1. Gráfico biplot contendo os atributos do solo e os manejos avaliados. FCO₂ = emissão de CO₂ do solo; Temperatura = temperatura do solo; PLA = porosidade livre de água; H+Al = acidez potencial; Densidade = Densidade do solo; Umidade = umidade do solo; Argila = teor de argila do solo; pH = pH do solo; V%= saturação por bases; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; Macro = macroporosidade e VTP = volume total de poros.

Tabela 2. Correlação entre cada atributo e um componente principal.

Variável	CP1 (45,67%)*	CP2 (30,07%)
Emissão de CO ₂ do solo (FCO ₂)	0,79	-0,15
Temperatura do solo (Ts)	0,76	-0,46
Umidade do solo (Us)	-0,75	0,32
Densidade	0,18	0,78
Macro (macroporosidade)	-0,15	-0,91
Volume total de poros (VTP)	-0,01	-0,90
Porosidade livre de água (PLA)	0,89	0,37
Argila	-0,72	-0,08
pH	-0,76	-0,05
Acidez potencial (H+Al)	0,92	0,11
Soma de bases (SB)	-0,93	-0,28
CTC	-0,79	-0,38
Saturação por bases (V%)	-0,91	-0,10

*Valor referente à porcentagem da variabilidade do conjunto original dos dados retida pelos respectivos componentes principais. Correlações em negrito (>0,70 em valor absoluto) foram considerados na interpretação do componente principal.

Retidos em CP2 encontram-se os atributos relacionados à estrutura porosa do solo (densidade, macro e VTP). A relação direta entre a macroporosidade e o volume total de poros e inversa com a densidade do solo (Tabela 2) é esperada, tal relação indica características de área não compactada, ou seja, solos com uma maior proporção de espaço poroso possuem menor densidade de solo que aqueles que estão mais compactados e possuem menos espaço poroso. Embora tais características foram observadas para a área de cana queimada, geralmente a área de reforma reflete estas condições. E tais relações são também as características da área de cana queimada, onde podemos observar o menor valor da densidade do solo ($1,11 \text{ g cm}^{-3}$) seguido pelos maiores valores de Macro (19,88%) e VTP (56,31%), indicando que estes atributos distinguem a área de cana queimada, da área de cana crua e da área de reforma (Figura 1).

Uma das características observadas na área de cana crua é a relação inversa entre a umidade do solo e a PLA, tal relação e seu efeito sobre a FCO_2 é compreendida uma vez que, a concentração de CO_2 nos poros do solo é significativamente maior do que na atmosfera, na ordem de 10 a 100 vezes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Elevações no conteúdo de água no solo, com a ocorrência de eventos pluviométricos, favorecem a expulsão de quantidades significativas de CO_2 do interior do solo, devido à infiltração de água nos espaços porosos (SMART; PEÑUELAS, 2005).

Linn e Doran (1984) observaram que a atividade microbiológica e as emissões de CO_2 foram intensificadas em condições próximas a 60% de preenchimento dos poros por água. Entretanto, a atividade microbiana aeróbica diminuiu com valores acima de 60% como resultado da aeração reduzida. Neste sentido, os resultados do presente estudo indicam que o teor de água no solo, durante o experimento, na área de cana crua, variou dentro de um intervalo em que seu aumento resultou na diminuição da atividade microbiana por limitar a oxigenação do solo. Tal hipótese é confirmada, quando observa-se na figura 1 e tabela 2, as direções opostas e a correlação inversa entre a umidade do solo (-0,75) e a FCO_2 (0,79), respectivamente. Assim como, na tabela 1, o menor valor da FCO_2 ($1,85 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e o maior valor da umidade do solo (25,07%) registrados na área de cana crua, diferindo significativamente ($p < 0,05$) dos demais manejos avaliados.

Neste estudo, observou-se que na área de reforma embora o valor médio da densidade do solo ($1,28 \text{ g cm}^{-3}$) não diferiu ($p > 0,05$) da área de cana crua ($1,31 \text{ g cm}^{-3}$) esta é ligeiramente menor na área de reforma. O maior valor médio da densidade do solo na área de cana crua, pode ser explicado pelo próprio sistema de manejo, no qual ocorre um ligeira compactação do solo pela máquina colhedora até a camada de 0-20 cm de profundidade, conforme indica o estudo de Souza et al., (2005). Em contrapartida, outros autores reportam que o sistema de cana crua propicie menor densidade do solo (TOMINAGA et al., 2002; GRAHAM; HAYNES, 2006), exatamente porque a palhada sobre o solo atenua as cargas aplicadas e dissipa até 30% da energia de compactação (BRAIDA et al., 2006).



O teor de argila foi maior na área de cana queimada (64,11%), seguido pela cana crua (63,56%) e o menor valor foi observado na área de reforma (58,44%) (Tabela 1). A relação negativa entre a FCO_2 e a argila (Figura 1 e Tabela 2) provavelmente é devida a absorção das moléculas orgânicas pela superfície dos minerais de argila que provê um mecanismo de proteção do C orgânico contra o ataque microbiano. Esta relação também foi observada em estudo similar desenvolvido por Panosso et al. (2011) em áreas de manejos de cana crua e cana queimada, no qual o teor de argila (0,62) se correlacionou negativamente a FCO_2 (-0,72) e ao estoque de carbono do solo (-0,79).

Conclusões

A emissão de CO_2 do solo é maior na área de reforma, sendo relacionada diretamente aos maiores valores da temperatura do solo, da porosidade livre de água e da acidez potencial do solo.

Na área de cana queimada os maiores valores da emissão de CO_2 do solo são relacionados a estrutura porosa do solo (macroporos e volume total de poros) e a CTC do solo.

Na área de cana crua o maior teor de água no solo e a densidade são fatores limitantes da respiração do solo, propiciando uma redução na emissão de CO_2 nesta área.

Práticas mais conservacionistas de manejo dos solos agrícolas, a exemplo da conversão da colheita manual com queima do canavial para a mecanizada crua e que minimizem a perturbação física do solo são eficientes para reduzir a emissão de CO_2 do solo e mitigar o efeito estufa adicional.

Ainda dentro do enfoque agroecológico, a mudança da colheita de cana queimada para cana crua é também de fundamental importância como um dos primeiros passos para a transição agroecológica visando a produção orgânica de açúcar, por exemplo.

Referências bibliográficas

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 30, n. 4, p. 605-614, 2006.

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 Agrícola**, Piracicaba-SP, v. 64, n. 1, p. 83-89, 2007.



CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**, segundo levantamento, agosto/2014. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília. Conab. Disponível: < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_05_09_11_59_boletim_cana_portugues_-_agosto_2014_2o_lev.pdf Safra 2012/2013>. Acesso em: 02 ago. 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Brasília, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2006. 412 p.

GESCH, R. W.; REICOSKY, D. C.; GILBERT, R. A.; MORRIS, D. R. Influence of tillage and plant residue management on respiration of a Florida Everglades Histosol. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1-2, p. 156-166. 2007.

GRAHAM, M. H.; HAYNES, R.J. Organic matter status and the size, activity and metabolic diversity of the soil microbial community in the row and inter-row of sugarcane under burning and trash retention. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 1, p. 21-31, 2006.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de dados**. 5ª Ed. Porto Alegre, RS, 2005. 688 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III**. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

LA SCALA JR., N.; DE FIGUEIREDO, E. B.; PANOSSO, A. R. On the mitigation potential associated with atmospheric CO₂ sequestration and soil carbon accumulation in major Brazilian agricultural activities. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos-SP, v. 72, n. 3, p. 775-785, 2012.

LA SCALA, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G. T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, n. 1-2, p. 244-248, 2006.

LIMA, M. A.; LIGO, M. A.; CABRAL, M. R.; BOEIRA, R. C.; PESSOA, M. C. P. Y.; NEVES, M. C. **Emissão de gases do efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 60 p.

LINN, D. M.; J. W. DORAN. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and



nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 48, n. 6, p. 1267-1272, 1984.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA, N. Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 37, n. 6, p. 1720-1728, 2013.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2006. 729 p.

PANOSSO, A. R.; MARQUES, J.; MILORI, D. M. B. P.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, n. 2, p. 190–196, 2011.

REICOSKY, D. C.; ARCHER, D. W. Moldboard plow tillage depth short-term carbon dioxide release. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 109-121, 2007.

RONQUIM, C.C. **Dinâmica espaçotemporal do carbono aprisionado na fitomassa dos agroecossistemas no nordeste do Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. 2007, 52 p.

SCHWARTZ, R. C.; BAUMHARDT, R. L.; EVETT, S. R. Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 110, n. 2, p. 221–229, 2010.

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, n. 3, p. 247-57, 2005.

SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005.

TEIXEIRA, D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; PERILLO, L. I.; IAMAGUTI, J. L.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Uncertainties in the prediction of spatial variability of soil CO₂ emissions and related properties. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 36, n. 5, p. 1466-1475, 2012.

TOMINAGA, T. T.; CÁSSARO, F. A. M.; BACCHI, O. O. S.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J. C. Variability of soil water content and bulk density in a sugarcane field. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 40, n. 4, p. 605–614, 2002.

USSIRI, A. N.; LAL, R. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 39-47. 2009.