

ABORDAGEM MULTIVARIADA SOBRE OS IMPACTOS DOS ATRIBUTOS DO SOLO NO FLUXO DO CARBONO E CO₂, SOB O CULTIVO DA CANA

SILVA, P. A.¹, PANOSSO, A. R.², VERAS, L. M.³, NOGUEIRA, D. C. S.⁴, VICENTINI, M. E.⁵, ROLIM, G. S.⁶

¹ Mestre em Agronomia, Professor Substituto, Dpto de Engenharia e Ciências Exatas, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - FCAV, UNESP; Jaboticabal, SP, (0XX16) 99646.5543, paullo-alex@outlook.com

² Doutor em Agronomia, Professor Assistente, Dpto de Engenharia e Ciências Exatas, FCAV, UNESP; Jaboticabal, SP

³ Mestre em Agronomia, Estudante de doutorado, Dpto de Engenharia e Ciências Exatas, FCAV, UNESP; Jaboticabal, SP

⁴ Mestre em Agronomia, Estudante de doutorado, Dpto de Engenharia e Ciências Exatas, FCAV, UNESP; Jaboticabal, SP

⁵ Mestre em Agronomia, Estudante de doutorado, Dpto de Engenharia e Ciências Exatas, FCAV, UNESP; Jaboticabal, SP

⁶ Doutor em Agronomia, Professor Adjunto, Dpto de Engenharia e Ciências Exatas, FCAV, UNESP; Jaboticabal, SP

Apresentado no
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

RESUMO: A cana auxilia na mitigação dos GEE, pois o sistema de colheita mecanizada o carbono acaba sendo incorporado ao solo. Objetivo: determinar a influência dos atributos do solo nos processos de emissão (Fm) e estoque de carbono do solo (EstC), em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, por meio das análises multivariadas exploratórias de dados das componentes principais. Variáveis estudadas: FCO₂, temperatura do solo (Ts), umidade do solo (Us), densidade do solo (Ds), Fósforo disponível (P), capacidade de troca de cátions (CTC) e Estc. O primeiro componente principal, CP1, explicou 59,20% da variância total das propriedades do solo, enquanto 14,36 % foram explicados por CP2, os quais conseguiram manter, em conjunto, 73,56 % da variabilidade das propriedades do solo. Os correlação foram a porosidade livre de água – PLA (0,949), a umidade do solo – Um (-0,940), a capacidade de troca de cátions – CTC (-0,939), estoque do carbono – EstC (-0.742), fósforo disponível – P (-0,724) e Macroporosidade - Macro (0,564). No segundo componente a única variável que apresentou importância foi a emissão do CO₂ do solo – Fm (0.890), mostrando que os atributos do solo podem influenciar no processo de emissão ou estocagem de carbono no solo.

PALAVRAS-CHAVE: Gases de efeito estufa, emissão de CO₂, estoque de carbono, análise componentes principais, mudanças climáticas

MULTIVARIARY APPROACH ON THE IMPACTS OF SOIL ATTRIBUTES ON THE FLOW OF CARBON AND CO₂ UNDER CANE CULTIVATION

ABSTRACT: Sugarcane helps to mitigate GHG, as the mechanized harvesting system ends up incorporating carbon into the soil. Objective: To determine the influence of soil attributes on the processes of emission (Fm) and soil carbon stock (EstC) in areas cultivated with sugarcane, through exploratory multivariate analysis of principal component data. Variables studied: FCO₂, soil temperature (Ts), soil moisture (Us), soil density (Ds), available phosphorus (P), cation exchange capacity (CTC) and Estc. The first principal component, CP1, explained 59.20% of the total variance of the soil properties, while 14.36% was explained by CP2, which managed to maintain, together, 73.56% of the variability of the soil properties. The correlations were free water porosity - PLA (0.949), soil moisture - Um (-0.940), cation exchange capacity - CTC (-0.939), carbon stock - EstC (-0.742), available phosphorus - P (-0.724) and Macroporosity - Macro (0.564). In the second component, the only variable that showed importance was the emission of CO₂ from the soil - Fm (0.890),

showing that the soil attributes can influence the process of emission or storage of carbon in the soil.

KEYWORDS: Greenhouse gases, CO₂ emission, carbon stock, main components, climate change

INTRODUÇÃO: A palhada da cana-de-açúcar gera uma cobertura que pode promover o acúmulo de carbono no solo (Galdos et al., 2009), auxiliando no processo de mitigação dos GEEs quando tem-se a produção agrícola do etanol e do açúcar. Conforme as informações fornecidas pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2019), na safra 2018/2019 a área plantada foi 8,59 milhões de hectares e a produção foi de 620,44 milhões de toneladas. O Estado de São Paulo foi o grande produtor do país, sendo responsável pela produção de 332,88 milhões de toneladas, em 4,43 milhões de hectares, representando 53,65% da cana processada. O estado de Mato Grosso do Sul foi o quarto maior produtor do país, com 647,4 mil hectares e produção de 49,50 milhões de toneladas, representando 7,54% da produção brasileira. As práticas de manejo do solo são importantes no processo de mitigação da emissão dos GEEs do solo, pois durante a eliminação da soqueira no preparo do solo em áreas de cana-de-açúcar, podem ser observado elevadas perdas de carbono do solo por meio da emissão de CO₂. Os principais atributos do solo que mais influenciam no processo de produção e transferência de CO₂ no solo são: densidade do solo, textura do solo, porosidade livre de água, temperatura do solo e umidade do solo (MOITINHO et al., 2015). O objetivo do trabalho foi estudar as relações existentes entre os atributos do solo, emissão (FCO₂) e estoque de carbono (Estc) do CO₂ no solo e determinar os processos dos fluxos de CO₂ com base nos dados medidos em duas áreas comerciais cultivadas com a cana-de-açúcar, localizadas nos municípios de Motuca – SP e Aparecida do Taboado – MS, por meio da estatística descritiva e pela análise multivariada das componentes principais.

MATERIAL E MÉTODOS: Os estudos foram realizados em duas áreas cultivadas com a cana-de-açúcar, nos municípios de Motuca – SP, e em Aparecida do Taboado - MS. Todas as áreas estavam sob o sistema de manejo de cana crua. Nas áreas do estado de SP o solo foi definido como Latossolo Vermelho Eutroférico, com textura muito argilosa. Já no estado do MS o solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico com textura argilosa. Conforme a classificação climática de Köppen, SP foi classificado como Aw, com temperatura média anual de 22,2 °C. No MS o clima foi o Aw, com temperatura média anual de 23,7 °C. A emissão de CO₂ do solo (FCO₂) e a temperatura do solo (Ts) foram registradas pelo sistema LI-COR (LI-8100). A umidade do solo (Us) foi medida pelo equipamento de TDR (Time Domain Reflectometry - Hydrosense TM, Campbell Scientific, Austrália). O estoque de carbono (Estc) foi calculado para a profundidade de 0,10 m ($Estc = (CO.Ds.E).0,1$; Estc = estoque de carbono (Mg ha⁻¹); CO = teor de carbono orgânico oxidável (g kg⁻¹); Ds = densidade do solo (kg dm⁻³); E = espessura da camada estudada (0,10 m)). Após a finalização das mensurações, foram coletadas as amostras de solo na profundidade de 0 a 0,10 m e posteriormente peneiradas na malha de 2 mm. Para a análise química foram extraídos os atributos: capacidade de troca de cátions (CTC) e o teor de fósforo disponível (P) do solo (RAIJ et al., 2001). A partir destas mesmas amostras, também foi determinada a Ds (EMBRAPA, 1997). Todas as avaliações foram feitas no início do estágio de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar. Os dados foram analisados, inicialmente por meio da estatística descritiva e pelo teste de Teste de Shapiro-Wilk ao nível de 5% de probabilidade. O método estatístico multivariado foi a Análise de Agrupamentos, foi usado para determinar os processos entre o fluxo de CO₂ e os atributos do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os valores médios de Fm nas áreas estudadas foram 2,124 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, no município de Motuca e 1,798 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em Aparecida do Taboado. Os coeficientes de variação foram 41, 24 % e 51,29 %, respectivamente, sendo esses valores altos. As variações dos valores mensurados para as Fm no município de Motuca ficaram entre 0,948 e 4,01 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, com média aproximada de 2,12 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Os valores calculados do EstC variaram de 6,83 a 9,03 Mg ha^{-1} , com valor de estocagem média de carbono de 7,81 Mg ha^{-1} . Em comparação ao município de Aparecida do Taboado, a Fm variou de 1,06 a 5,18 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e teve emissão média de 1,79 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. A variação de EstC observada foi de 2,62 a 12,08 Mg ha^{-1} , sendo o estoque médio da área 6,21 Mg ha^{-1} . Observou-se que a cidade Motuca - SP apresentou maior potencial de emissão (Fm) e maior estoque (EstC) de carbono no solo, quando comparado com o município de Aparecida do Taboado -MS. O mesmo aconteceu CTC e de P. Essas características são indicativos da fertilidade do solo, que mostraram que quanto maior esses índices, maior será a fertilidade do solo da área e conseqüentemente, maior geração de CO_2 no solo. A produção de CO_2 no interior do solo está associada às atividades biológicas, a decomposição da matéria orgânica, a umidade e a temperatura do solo, sendo esses os fatores importantes no controle da respiração do solo. O fato de que o maior valor médio de Fm ter ocorrido na área de Motuca, pode ser explicado pelos maiores valores médio de temperatura e umidade do solo em relação à Aparecida do Taboado 25,24 °C e 31,36 %, respectivamente. Também se observava que os atributos físicos relativos à Ds, Um e PLA contribuíram na variação dos valores de Fm, entre as áreas.

TABELA 1. Estatísticas descritivas da emissão de CO_2 e dos atributos físicos e químicos do solo para todas as áreas estudadas

VARIÁVEIS	MÉDIA	DP	MIN / MAX	CV
MOTUCA – SP				
Fm	2,124	0,876	0,948 / 4,013	41,240
Ts	25,240	0,929	22,928 / 26,475	3,679
Um	31,362	10,538	22,600 / 57,750	33,601
Ds	1,165	0,067	1,044 / 1,278	5,735
Micro	36,046	1,673	32,280 / 38,218	4,641
P	16,471	4,110	10,000 / 25,000	24,952
CTC	102,865	9,572	92,100 / 124,600	9,305
EstC	7,813	0,599	6,828 / 9,026	7,672
PLA	15,02	5,72	27,03 / -3,42	38,08
APARECIDA DO TABOADO – MS				
Fm	1,798	0,922	1,063 / 5,177	51,291
Ts	21,731	1,115	20,065 / 24,232	5,129
Um	9,345	0,977	7,200 / 10,800	10,454
Ds	1,472	0,113	1,331 / 1,689	7,654
Micro	32,190	2,583	28,634 / 37,217	8,023
P	7,971	1,037	6,687 / 10,259	13,013
CTC	57,430	4,354	49,690 / 66,194	7,582
EstC	6,212	1,801	2,618 / 12,076	28,984
PLA	2,66	1,05	8,17 / 1,2	39,49

DP = desvio padrão; Máx = Máximo; Mín = Mínimo; CV = coeficiente de variação (%); Fm = Fator de emissão de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); Ts = temperatura do solo (°C); Um = umidade do solo (%); Ds = densidade do solo (kg dm^{-3}); Micro = microporosidade (%); P = fósforo disponível (mg dm^{-3}); CTC = capacidade de troca de cátions (mmolc dm^{-3}); Estc = estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1}); PLA = porosidade livre de água (%).

O primeiro componente principal, CP1, explicou 59,20% da variância total das propriedades do solo, enquanto 14,36 % foram explicados por CP2, os quais conseguiram manter, em conjunto, 73,56 % da variabilidade das propriedades do solo. Foram gerados dois grupos distintos: grupo I, menos agrupado, localizado ao lado esquerdo do gráfico biplot por dados

de Motuca, e o grupo II, localizado à direita formada por Aparecida do Taboado (Figura 1). No primeiro componente principal e por ordem de importância, os atributos que apresentaram maiores coeficientes de correlação foram a porosidade livre de água – PLA (0,949), a umidade do solo – Um (-0,940), a capacidade de troca de cátions – CTC (-0,939), estoque do carbono – EstC (-0,742), fósforo disponível – P (-0,724) e Macroporosidade - Macro (0,564). No segundo componente a única variável que apresentou importância foi a emissão do CO₂ do solo – Fm (0,890).

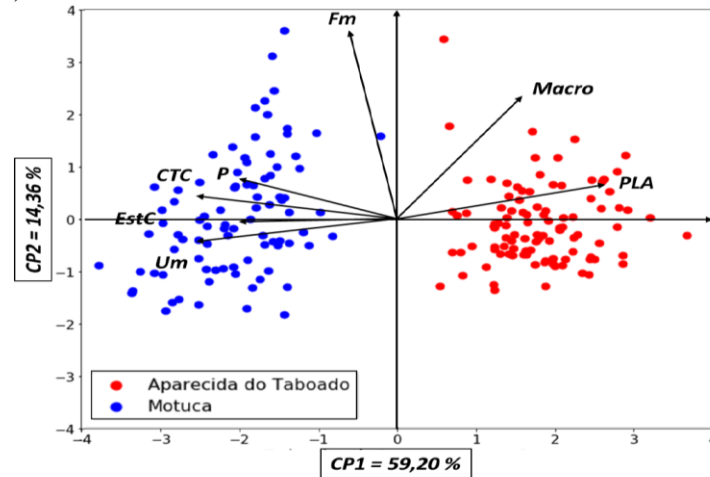


Figura 1. CP1 - componentes principais 1; CP2 - componentes principais 2; Fm = Fator de emissão de CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); Um = umidade do solo (%); Macro = macroporosidade (%); P = fósforo disponível (mg dm^{-3}); CTC = capacidade de troca de cátions (mmolc dm^{-3}); Estc = estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1}); PLA = porosidade livre de água (%).

CONCLUSÕES: O manejo do solo na produção da cana crua influencia na estruturação do solo, nas características dos atributos do solo e na emissão ou sequestro de carbono do solo. Dependendo do manejo e das características do solo podem ser encontradas regiões de produção, armazenamento de CO₂ e fertilidade do solo, caracterizado por Estc ou regiões de transporte e liberação de CO₂ do solo para a atmosfera, caracterizado por FCO₂.

AGRADECIMENTOS: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Caracterização do Solo para Fins de Manejo Específico (CSME) e ao Group of Agrometeorological Studies (GAS) pelo apoio.

REFERÊNCIAS:

- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento.** Brasília, DF, 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana>>. Acesso em: 10 mar, 2020.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-CNPQ). **Manual de métodos de análise de solo (In Portuguese), Centro Nacional De Pesquisa De Solos (2nd ed).** Rio de Janeiro, Brazil, 1997.
- GALDOS, M. V., CERRI, C. C., CERRI, C. E. P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. Amsterdam, **Geoderma**, v. 153, p. 347-352, 2009.
- MOITINHO, M. R., PADOVAN, M. P., PANOSSO, A. R., TEIXEIRA, D. B., FERRAUDO, A. S., LA SCALA, N. On the spatial and temporal dependence of CO₂ emission on soil properties in sugarcane (*Saccharum spp.*) production, Amsterdam, **Soil and Tillage Research**, v. 148, p. 127-132, 2015.
- RAIJ, B.V. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2001, 285 p.