

ANÁLISE MULTIVARIADA DOS ATRIBUTOS DO SOLO E DO FLUXO DE CARBONO DO SOLO EM ÁREAS COM O MANEJO DE CANA CRUA

SILVA, P. A.¹, PANOSSO, A. R.², LA SCALA Jr, N.³, PERUZZI, N. J.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 Doutor em Física, Professor Titular, Dpto de Engenharia e Ciências Exatas, FCAV, UNESP; Jaboticabal, SP

⁴ Doutor em Matemática, Professor Assistente, 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

XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020
23 a 25 de novembro de 2020 – Congresso On-line

RESUMO: A cana destaca-se na mitigação dos GEE pois captura o CO₂ da atmosfera e o incorpora em sua fitomassa. O objetivo foi estudar as relações entre os atributos do solo, emissão (FCO₂) e estoque de carbono (Estc) do CO₂ no solo e determinar os processos dos fluxos de CO₂, em quatro canaviais, localizados nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, através dos Índices de Correlação de Pearson e da Análise Multivariada Exploratória de Dados de Fatores (AF). 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. Os atributos físicos do solo se relacionaram com a FCO₂. Os atributos químicos do solo com o Estc. A AF explicou 84,27% da variabilidade dos dados. Fator 1 (55,25%): processo de produção e acúmulo de CO₂ no solo, mostrados pelos Estc (0,93), CTC (0,079), Ts (-0,87) e P (0,64). Fator 2 (29,02%): processo de transporte e liberação de CO₂ do solo para a atmosfera, pelos FCO₂ (0,95), Ds (-0,90), Us (0,84). O manejo da cana e os atributos do solo impactam no fluxo de CO₂ do solo, formando regiões de produção e acúmulo de CO₂, caracterizado por Estc ou regiões de transporte e liberação de CO₂ do solo para a atmosfera, por FCO₂.

PALAVRAS-CHAVE: manejo do solo, análise de fatores, cana-de-açúcar

MULTIVARIATE ANALYSIS OF SOIL ATTRIBUTES AND SOIL CARBON FLOW IN AREAS WITH RAW CANE MANAGEMENT

ABSTRACT: Sugarcane stands out in the mitigation of GHGs because it captures CO₂ from the atmosphere and incorporates it in its phytomass. Objective: to study the relationship between the attributes of soil, emission (FCO₂) and carbon stock (Estc) of CO₂ in the soil and determine the processes of CO₂ flows in four cane fields, located in the states of São Paulo and Mato Grosso do Sul, through the Pearson Correlation Indexes and the Exploratory Multivariate Analysis of Factor Data (AF). Studied variables: FCO₂, soil temperature (Ts), soil moisture (Us), soil density (Ds), available phosphorus (P), cation exchange capacity

(CTC) and Estc. The physical attributes of the soil were related to FCO₂. The chemical attributes of the soil with Estc. The AF explained 84.27% of the data variability. Factor 1 (55.25%): production process and accumulation of CO₂ in the soil, shown by Estc (0.93), CTC (0.079), Ts (-0.87) and P (0.64). Factor 2 (29.02%): process of transport and release of CO₂ from the soil to the atmosphere, by FCO₂ (0.95), Ds (-0.90), Us (0.84). Sugarcane management and soil attributes impact on the CO₂ flow of the soil, forming regions of CO₂ production and accumulation, characterized by Estc or regions of transport and release of CO₂ from the soil into the atmosphere, by FCO₂.

KEYWORDS: soil management, factor analysis, sugarcane

INTRODUÇÃO: A cobertura formada pela palhada da cana-de-açúcar proporciona uma condição que favorece o acúmulo de carbono no solo (Galdos et al., 2009), colaborando com a mitigação dos GEEs na produção agrícola do etanol e do açúcar. Segundo os dados da Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2019), na safra 2018/2019 a área plantada ficou em torno de 8,59 milhões de hectares e a produção foi de 620,44 milhões de toneladas. O Estado de São Paulo foi o maior produtor do país, com 4,43 milhões de hectares e produção de 332,88 milhões de toneladas, representando 53,65% da cana processada. O estado de Mato Grosso do Sul é o quarto maior produtor do país, com 647,4 mil hectares e produção de 49,50 milhões de toneladas, onde foi responsável por 7,54% da produção brasileira. O uso adequado das práticas de manejo do solo é de grande importância para o processo de mitigação da emissão dos GEEs no solo. As práticas de eliminação da soqueira pelo preparo do solo em áreas de cana-de-açúcar podem levar à expressivas perdas de carbono do solo pela emissão de CO₂. Os 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 quatro áreas comerciais cultivadas com a cana-de-açúcar, localizadas nos municípios de Motuca – SP, Guariba – SP, Pradópolis – SP e Aparecida do Taboado – MS, por meio dos Índices de Correlação de Pearson e pela análise multivariada exploratória de dados de Fatores.

MATERIAL E MÉTODOS: Os estudos foram realizados em quatro áreas comerciais cultivadas com a cana-de-açúcar, nos municípios de Motuca, Pradópolis e Guariba, situadas no Estado de São Paulo (SP) e em Aparecida do Taboado, no Estado do Mato Grosso do Sul (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. Em seguida foram realizada a matriz de correlação pelo método de Pearson. O método estatístico multivariado Análise de Fatores foi usado para determinar os processos entre o fluxo de CO₂ e os atributos do solo. Para a determinação do poder de explicação dos fatores foi utilizada a matriz de covariância dos dados, da qual foram extraídos os autovalores que originam os autovetores (Kaiser, 1958).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os resultados da estatística descritiva indicam que as variáveis apresentaram moderada distribuição normal dos dados de acordo com o Teste de Shapiro-Wilk ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 1). O coeficiente de variação foi baixo (< 10 %) para as variáveis FCO₂ (0,06 %), Ts (1,74 %), Ds (0,01 %) e Estc (6,91 %). O restante foi considerado super alto (>30 %) para a CTC (394,8 %), P (81,72 %) e Us (37,95 %). Este resultado já era esperado por serem medidas indiretas e devido à grande amplitude das características química do solo, visto que no campo há a presença de solos distroféricos e eutroféricos amostrados, que resultaram nas características dos atributos do solo. Os coeficientes de correlação Pearson entre as variáveis dos atributos do solo e as do fluxo de CO₂ do solo mostraram que a Ds (-0,722) e a Us (0,95) apresentaram uma alta correlação com a FCO₂, mostrando uma alta relação com os atributos físicos do solo, relacionados à porosidade. Para o Estc os atributos que mais relacionaram foram o Ts (-0,79), CTC (0,81), sendo esse processo mais relacionado com os atributos químicos e com a fertilidade solo.

Tabela 1. Índice de correlação de Pearson aplicado entre os atributos do solo e o fluxo de CO₂ do solo.

	FCO ₂	Ts	Us	Ds	CTC	Estc	P
FCO ₂	1,00	-0,14	0,95	-0,72	0,70	0,41	0,10
Ts	-0,14	1,00	-0,39	-0,36	-0,56	-0,79	-0,33
Us	0,95	-0,39	1,00	-0,56	0,86	0,63	0,31
Ds	-0,72	-0,36	-0,56	1,00	-0,27	0,24	0,06
CTC	0,70	-0,56	0,86	-0,27	1,00	0,81	0,67
Estc	0,41	-0,79	0,63	0,24	0,81	1,00	0,44
P	0,10	-0,33	0,31	0,06	0,67	0,44	1,00

Na Tabela 2 tem-se os resultados da análise de fatores para os atributos do solo e o fluxo de CO₂ do solo. O fator 1 representa o processo de produção, armazenamento de CO₂ e fertilidade do solo. Foi observado o agrupamento do Estc (0,93), CTC (0,079), Ts (-0,87), que obtiveram cargas fatoriais acima de 0,70 e com menor intensidade o P (0,64). Esse fator mostrou que o processo de estoque do carbono no solo está diretamente ligado às características de fertilidade do solo, quanto maior for a fertilidade do solo, maior será o Estc. Já a Ts apresentou uma relação inversamente proporcional com o Estc, em que quanto maior for a temperatura do solo, menor será o Estc. Essas relações são importantes pois a temperatura está ligada a velocidade das reações químicas do solo, a decomposição de matéria orgânica do solo e a atividade da microbiota. O fator 2 representou o processo de transporte e liberação de CO₂ do solo para a atmosfera. Foi observado o agrupamento da FCO₂ (0,95), Ds (-0,90), Us (0,84). Esse fator mostrou que o processo de emissão de CO₂ do solo está diretamente ligado às características físicas do solo. A porosidade do solo foi dependente da estrutura do solo e conseqüentemente da densidade do solo. Além disto, o CO₂ ficou

armazenado nestes poros, sendo assim se houver a entrada de água nesses poros, naturalmente haverá a expulsão de CO₂ e de outros gases.

Tabela 2. Resultados da análise de fatores para os atributos do solo e o fluxo de CO₂ do solo. Número total de observações = 24.

Variáveis	Factor 1	Factor 2
FCO ₂	0,24	0,95
Ts	-0,87	0,10
Us	0,51	0,84
Ds	0,34	-0,90
CTC	0,79	0,58
Estc	0,94	0,15
P	0,65	0,07
Interpretação	Processo de produção, armazenamento de CO ₂ e fertilidade do solo.	Processo de transporte e liberação de CO ₂ do solo para a atmosfera.

CONCLUSÕES: O manejo do solo na produção da cana crua influencia na estruturação do solo, impactando nas características dos atributos do solo e nos processos de emissão ou sequestro de carbono do solo. A análise dos Índices de Correlação de Pearson indicou que houve altas correlações entre os atributos do solo e o fluxo de CO₂ do solo, mostrando uma forte relação dos atributos físicos do solo com a FCO₂ e os químicos com o Estc. A análise de fatores se mostrou eficiente na definição dos processos relacionados aos fluxos de CO₂ do solo. Dependendo do manejo e das características do solo podem ser encontrados 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/safras/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.
- KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. New York, **Psychometrika**, v. 23, p. 187-200, 1958.
- 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.