COINTER PDVAgro 2020

V CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Edição 100% virtual | 02 a 05 de dezembro

ISSN:2526-7701 | PREFIXO DOI:10.31692/2526-7701

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

ENFOQUE MULTIVARIADO SOBRE LA INFLUENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL SUELO EN EL FLUJO DE CARBONO Y CO₂ BAJO EL CULTIVO DE CAÑA

MULTIVARIATE APPROACH ON THE INFLUENCE OF SOIL ATTRIBUTES ON CARBON AND CO₂ FLOW UNDER CANE CULTIVATION

Apresentação: Comunicação Oral

Paulo Alexandre da Silva¹; Kleve Freddy Ferreira Canteral²; Maria Elisa Vicentini³; Alan Rodrigo Panosso⁴; Glauco de Sousa Rolim⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.VCOINTERPDVAgro.0551>

RESUMO

O fator k do carbono orgânico do solo pode ser usado na tomada de decisão das práticas de manejo do solo e é um indicativo da variabilidade da estabilidade do carbono do solo, que depende das interações de fatores físico-químicos e biológicos do 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: Análise de agrupamentos e de componentes principais. Os experimentos foram realizados em plantios comerciais de cana-de-açúcar, nos municípios de Motuca, no Estado de São Paulo, e Aparecida do Taboado, no Estado do Mato Grosso do Sul. As medidas Fm foram registradas pelo sistema LI-COR (LI-8100). A abordagem multivariada indicou que a análise de componentes principais para os dois locais explicou cerca de 74 % da variabilidade total dos dados, já para cada município foram explicados 60 % e 51 % da variabilidade total dos dados para Motuca e Aparecida do Taboado, respectivamente. Os atributos físicos do solo mostraram poder discriminatório no CP1 e indicaram um contraste entre os poros preenchidos com ar e umidade do solo. No CP2, os atributos químicos indicaram uma ação conjunta da capacidade de troca catiônica e do teor de fósforo disponível. Para maiores valores do fator k, tem-se valores menores de EstC e valores maiores de Fm, formando uma região para a atmosfera de fonte de carbono. Já para valores menores de k, tem-se menores valores de Fm e maiores valores de EstC, expressando uma região de potencial acúmulo de carbono, esses processos são influenciados pelos atributos do solo, que podem ser usados para a determinação de zonas de específicos manejos, sendo que a Um e a PLA estão fortemente correlacionadas com a Fm, e com o processo de transporte do CO₂ no solo. Já a CTC e P influenciaram na fertilidade, na manutenção da matéria orgânica e na atividade da microbiota do solo, podendo resultar na maior produção do CO₂ ou armazenamento do carbono no solo. Os resultados indicam que o potencial de acumulação de carbono no solo apresentou alta variabilidade, assim, na mesma área, ocorreram mudanças nos padrões espaciais do fator k, apresentando regiões com potenciais acúmulos ou fontes de carbono no sistema de cultivo da cana crua, podendo realizar o manejo específico na área produtiva.

Palavras-Chave: Gases de efeito estufa, emissão de CO₂, estoque de carbono, análise multivariada, mudanças climáticas.

RESUMEN

El factor k del carbono orgánico del suelo se puede utilizar en la toma de decisiones de las prácticas de manejo del suelo y es un indicador de la variabilidad de la estabilidad del carbono del suelo, que depende de las interacciones de los factores fisicoquímicos y biológicos del suelo. Objetivo: determinar la influencia de los atributos del suelo en los procesos de emisión (F_m) y stock de carbono del suelo ($EstC$), en áreas cultivadas con caña de azúcar, mediante análisis exploratorio multivariado de datos: Análisis de conglomerados y componentes principales. Los experimentos se realizaron en plantaciones comerciales de caña de azúcar, en los municipios de Motuca, en el Estado de São Paulo, y Aparecida do Taboado, en el Estado de Mato Grosso do Sul. Las medidas de F_m fueron registrados por el sistema LI-COR (LI-8100). El enfoque multivariado indicó que el análisis de componentes principales para las dos ubicaciones explicó aproximadamente el 74 % de la variabilidad total de los datos, el 60 % y el 51 % de la variabilidad total de los datos para Motuca y Aparecida do Taboado, respectivamente. Los atributos físicos del suelo mostraron poder discriminatorio en CP1 e indicaron un contraste entre los poros llenos de aire y la humedad del suelo. En CP2, los atributos químicos indicaron una acción conjunta de la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de fósforo disponible. Para valores más altos de factor k , hay valores más bajos de $EstC$ y valores más altos de F_m , formando una región para la atmósfera de la fuente de carbono. Para valores k más bajos, valores F_m más bajos y valores $EstC$ más altos, que expresan una región de acumulación potencial de carbono, estos procesos están influenciados por los atributos del suelo, que pueden usarse para determinar zonas de manejo específicas, estando U_m y PLA fuertemente correlacionados con F_m , y con el proceso de transporte de CO_2 en el suelo. CTC y P , por otro lado, influyeron en la fertilidad, el mantenimiento de la materia orgánica y la actividad de la microbiota del suelo, lo que puede resultar en una mayor producción de CO_2 o almacenamiento de carbono en el suelo. Los resultados indican que el potencial de acumulación de carbono en el suelo mostró alta variabilidad, por lo que en la misma zona se produjeron cambios en los patrones espaciales del factor k , presentando regiones con acumulaciones potenciales o fuentes de carbono en el sistema de cultivo de caña de azúcar cruda, pudiendo realizar manejo específico en el área productiva.

Palabras Clave: Gases de efecto invernadero, emisiones de CO_2 , stock de carbono, análisis multivariado, cambio climático.

ABSTRACT

The k factor of soil organic carbon can be used in the decision-making of soil management practices and is an indicator of the variability of soil carbon stability, which depends on the interactions of soil physicochemical and biological factors. Objective: to determine the influence of soil attributes on the emission processes (F_m) and soil carbon stock ($EstC$), in areas cultivated with sugarcane, by means of exploratory multivariate data analysis: Analysis of clusters and main components. The experiments were carried out in areas of commercial plantations of sugar cane, in the municipalities of Motuca, in the State of São Paulo, and Aparecida do Taboado, in the State of Mato Grosso do Sul. The measures of F_m were registered by the LI-COR system (LI-8100). The multivariate approach indicated that the principal component analysis for the two locations explained about 74 % of the total data variability, 60 % and 51 % of the total data variability for Motuca and Aparecida do Taboado, respectively. The physical attributes of the soil showed discriminatory power in CP1 and indicated a contrast between the pores filled with air and the water content in the soil. In CP2, the chemical attributes indicated a joint action of the cation exchange capacity and the available phosphorus content. For higher values of factor k , there are lower values of $EstC$ and higher values of F_m , forming a region for the carbon source atmosphere. For lower k values, lower F_m values and higher $EstC$ values, expressing a region of potential carbon accumulation, these processes are influenced by soil attributes, which can be used to determine specific management zones. , with U_m and PLA being strongly correlated with F_m , and with the CO_2 transport process in the soil. CTC and P , on the other hand, influenced fertility, the maintenance of organic matter and the activity of soil microbiota, which may result in greater production of CO_2 or storage of carbon in the soil. The results indicate that the potential for carbon accumulation in the soil showed high variability, thus, in the same area, changes occurred in the spatial patterns of factor k , presenting regions with potential accumulations or carbon sources in the raw sugarcane cultivation system, being able to perform specific management in the productive area.

Keywords: Greenhouse gases, CO_2 emissions, carbon stock, multivariate analysis, climate change.

INTRODUÇÃO

O efeito estufa é um processo natural, resultante da elevada concentração de gases na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e vapores d'água, os quais veem aumentando rapidamente desde a era pré-industrial (IPCC, 2014). Em escala global, as maiores contribuições de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera estão relacionadas com a queima de combustíveis fósseis. Entretanto, as atividades vinculadas à agricultura, silvicultura e outros usos da terra são responsáveis por cerca de um quarto das emissões de GEE, equivalente a cerca de 10 a 12 Gt CO_2eq por ano entre os anos de 2000 a 2010 (VERMEULEN et al., 2012; IPCC, 2014; SMITH et al., 2014). A agricultura contribui diretamente com 14% das emissões antrópicas de GEE, sendo responsável por uma emissão adicional de 17% quando a mudança do uso da terra para a produção agrícola é levada em consideração (IPCC, 2007; LYBBERT, SUMNER, 2012).

O Brasil é o maior produtor mundial do cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) e o segundo maior produtor de etanol (FAO, 2017). Na safra 2018/2019, a área plantada foi de aproximadamente 8,59 milhões de hectares, sendo a produção esperada de 620,44 milhões de toneladas. Entretanto, a alta produtividade resultante de práticas agrícolas está intimamente associada a problemas de cunho socioambiental. Portanto, maximizar a eficiência nos modelos de gestão de práticas convencionais de manejo, de maneira consorciada ao viés econômico e sustentável, tem se tornado uma questão cada vez mais desafiadora para a agricultura mundial (FAO, 2015). A emissão de CO_2 do solo (F_m), também conhecida como respiração do solo, é um processo altamente dinâmico e resultante de múltiplos fatores que ocorrem no interior do solo, a exemplo da interação entre as condições edafoclimáticas locais e as propriedades químicas, físicas e biológicas, que interferem na produção e transporte de CO_2 do solo para a atmosfera (BALL, SMITH, 1991; KANG et al., 2000). A produção deste processo está vinculada à decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) e à respiração das raízes das plantas, por meio da ação dos microrganismos, enquanto que o transporte está relacionado às condições físicas do solo, especialmente a porosidade, ao condicionar o fluxo de gases do interior do solo para a atmosfera (MOITINHO et al., 2015; TAVARES et al., 2018).

O uso agrícola e mudanças de cobertura de uso da terra desempenham impactos significativos nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, logo afetam a dinâmica de carbono orgânico do solo e, consequentemente, as emissões de GEE (TAVARES et al., 2015; 2018). Dentre estes atributos, a temperatura do solo (T_s) e a umidade do solo (U_m) são variáveis

que geralmente governam os padrões de variabilidade temporal da Fm. Por outro lado, a densidade do solo, textura, teor de MOS, estoque de carbono (EstC), biomassa microbiana do solo (BMS), pH, capacidade de troca de cátions (CTC) e mineralogia do solo tem maior destaque em termos de variabilidade espacial da Fm (BICALHO et al., 2014). Além disso, as diferenças nas emissões de CO₂ dependem do tipo de cultivo e preparo do solo (PACKER et al., 2015). O sistema de colheita mecanizada da cana crua proporciona a deposição de até 15 t ha⁻¹ ano⁻¹ de massa seca dos resíduos sob o solo, o que resultaria em acúmulo de carbono nas camadas mais superficiais do mesmo (CANELLAS et al., 2010; CARVALHO et al., 2016). O sistema de colheita de cana crua contribui para a mitigação da emissão de GEE, pois o carbono que seria emitido diretamente à atmosfera durante a queima do canavial pode ser incorporado ao solo e ser reintroduzido ao sistema (PACKER et al., 2015).

Neste contexto, sabendo-se que a respiração do solo é um processo dependente de muitos fatores, a abordagem multivariada exploratória de dados é uma estratégia chave para explorar ainda mais as relações existentes entre as variáveis que estão fortemente associadas à Fm. Além disso, o estudo da variabilidade espacial da respiração do solo pode maximizar a compreensão da dinâmica da emissão de CO₂ e permitir inferências e conclusões mais assertivas a este respeito. Nos últimos anos, estas abordagens têm sido satisfatoriamente empregadas no âmbito das ciências agrárias e ambientais e ratificam a continuidade do uso das mesmas para melhorar o entendimento sobre importantes processos que ocorrem no solo (PANOSSO et al., 2011; DA SILVA et al., 2020; MOITINHO et al., 2021).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi determinar a influência dos atributos do solo nos processos de emissão (Fm) e estoque de carbono (EstC) do CO₂ no solo, em duas áreas comerciais cultivadas com a cana-de-açúcar, localizadas nos municípios de Motuca- SP e Aparecida do Taboado – MS, regiões do Cerrado do brasileiro, por meio das análise multivariadas exploratórias de dados: Análise de agrupamentos e Análise das componentes principais.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A análise de agrupamentos é uma técnica que agrupa as variáveis, em função das suas características semelhantes, visando determinar a homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre os grupos. As variáveis passam por um processo de transformação, por meio das suas combinações lineares, resultando nas chamadas componentes principais.

A escolha da metodologia do cálculo da distância entre dois objetos quantifica a

semelhança entre os pontos, quanto maior for essa distância, maior a diferença entre os pontos, Esta medida é chamada coeficiente de dissimilaridade. O critério mais usado e adequado para variáveis quantitativas é a distância Euclidiana. (BUSSAB, 1990).

O método de classificação hierárquico reuni os pontos em grupos, essa dinâmica repete-se nos diversos níveis até formar uma árvore que recebe o nome de dendograma. Chatfield (1997) classifica esse algoritmo como aglomerativo pois sua estrutura é formada uma série de união, iniciando com n grupos com apenas um ponto e termina em um grupo de n pontos, geralmente as ligação simples, ligação completa, ligação média, centroide e ward são as mais utilizadas.

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica multivariada que consiste em explicar a variância e covariância de um vetor aleatório, composto por p-variáveis aleatórias, por meio de combinações lineares, de modo que estas sejam ortogonais entre si, ou seja, as variáveis não sejam dependentes entre si. Geralmente, esta abordagem é empregada a fim de reduzir a dimensão do espaço vetorial original sem causar a perda da estrutura da variabilidade dos dados, assim como facilitar e identificar relações que não seriam possíveis apenas pela observação dos dados originais, possibilitando inferências mais abrangentes e conclusões mais assertivas sobre os dados e as condições de estudo (JOHNSON, WICHERN, 2007).

Frequentemente, as variáveis decorrentes dos estudos se apresentam em unidades e medidas diferentes. Portanto, é importante que antes da aplicação da ACP os dados sejam padronizados (média 0 e variância 1), com o intuito de tornar as variáveis adimensionais e por consequência diminuir a influência da lacuna de grande magnitude. Em segunda instância, ocorre a extração das componentes principais, que por sua vez podem ser obtidas por métodos diversos, sendo o critério de Kaiser (1958) o mais comumente empregado, ao considerar apenas as componentes que apresentam seus respectivos autovalores superiores a um.

Em função da ordenação decrescente dos autovalores, as componentes principais são apresentadas por ordem de importância, sendo a primeira componente responsável por reter a maior porcentagem de explicação da variabilidade das variáveis; enquanto que a segunda componente explica o máximo da variabilidade que não foi explicada pela primeira componente, e assim sucessivamente. Finalmente, estes dados podem ser empregados para a interpretação e resolução de problemas.

Na estatística clássica, assume-se que a variabilidade ao redor da média é aleatória e espacialmente independente. No entanto, a variabilidade de vários atributos do solo, frequentemente, apresenta uma componente espacialmente dependente, isto é, a variabilidade

pode ser descrita como uma função da distância de separação entre as amostras (ISAACS, SRIVASTAVA, 1989; DASSELAAR et al., 1998). Diante disso, a análise geoestatística é uma técnica que fornece informações relevantes em termos de distribuição espacial de um atributo do solo e pode ser utilizada para estimativas dessa mesma propriedade em locais não amostrados. Assim, o uso desta ferramenta pode auxiliar tanto no entendimento da dinâmica de padrões espaciais de um determinado atributo do solo, como nos processos que envolvem o mesmo (WEBSTER, 1985; WEBSTER; OLIVER, 1990).

METODOLOGIA

Os estudos foram realizados em duas áreas comerciais cultivadas com a cana-de-açúcar. A primeira área de estudo foi o município de Motuca, localizada no interior do Estado de São Paulo, no ano de 2008. As coordenadas geográficas da área foram 21° 24' S e 48° 09' O. Já a segunda área de estudo foi o município de Aparecida do Taboado, localizada no interior do Estado do Mato Grosso do Sul, no ano de 2014. As coordenadas geográficas da área foram 20° 16' S e 51° 16' O. Ambas as áreas de cana-de-açúcar estavam sob o sistema de manejo de cana crua (colheita mecanizada), em que os resíduos vegetais (folha e colmos) permanecem na superfície do solo após a colheita. As classificações dos solos foram realizadas conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS). Em Motuca o solo foi definido como Latossolo Vermelho Eutroférico, com textura muito argilosa (teor de argila superior a 60%). Em Aparecida do Taboado, o solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico com textura argilosa. A classificação climática foi definida de acordo com a metodologia de Köppen. Em Motuca foi classificado como Aw, com temperatura média anual de 22,2 °C. No município de Aparecida do Taboado o clima Aw, e temperatura média anual 23,7 °C.

Figura 1. Localização das áreas experimentais, Motuca- SP e Aparecida do Taboado – MS.

Fonte: Própria (2020)

A emissão de CO₂ do solo (Fm) 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 foi calculado para a profundidade de 0,10 m e, com base na massa de solo equivalente para contabilizar as variações da densidade do solo, nas diferentes áreas de estudo pela equação 1 (BAYER et al., 2000):

$$EstC = \frac{CO \times Ds \times E}{10} \quad (1)$$

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 deformadas e indeformadas na profundidade de 0 a 0,10 m e posteriormente peneiradas na malha de 2 mm. Para a análise química foram extraídos os atributos: potencial hidrogeniônico (pH), capacidade de troca de cátions (CTC) e o teor de fósforo disponível no solo (RAIJ et al., 2001). A partir destas mesmas amostras, também foram determinados os seguintes atributos físicos: porosidade livre de água (PLA), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e a densidade do solo (Ds) (EMBRAPA, 1997). Todas as avaliações foram feitas no início do estágio de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, que posteriormente resultaram em médias finais no encerramento dos períodos de avaliação para cada área de estudo avaliado.

Constante de decaimento (k) e análise de componente principal (PCA)

Os dados foram analisados, inicialmente por meio da estatística descritiva (média, desvio-padrão, máximo, mínimo e coeficiente de variação). Foi realizado o teste de Teste de Shapiro-Wilk ao nível de 5% de probabilidade para verificação da normalidade dos dados.

Para determinar a constante de decaimento k (dia^{-1}), foi realizado o cálculo, dado pela equação 2:

$$k = \frac{Fm}{EstC} \quad (2)$$

Onde k = constante de decaimento (dia^{-1}); Fm = emissão de CO_2 no solo ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); $EstC$ é o estoque de carbono do solo (Mg ha^{-1}).

Para a análise de componentes principais (PCA), foram usados os seguintes atributos do solo: Fm = Fator de emissão de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); 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 (%). Para a análise da PCA, os atributos foram escolhidos de forma a maximizar a variabilidade dos dados para os componentes principais 1 (PC1) e 2 (PC2), de forma que cada área avaliada apresentasse uma variabilidade cumulativa maior que 50% (Kaiser, 1958). Para minimizar os dados significativos em autovetores (menor conjunto de variáveis ortogonais) foi utilizada a análise dos componentes principais nas características estudadas, formadas pela combinação linear entre os atributos do solo estudados. A análise de regressão múltipla foi realizada para a seleção das variáveis. A análise de componentes principais foi realizada usando STATISTICA 7.0. Para essas análises, as variáveis k , emissão de CO_2 e estoque de carbono não foram selecionadas.

Também foram realizadas as análises de agrupamentos, que é uma ferramenta da estatística multivariada utilizada no processo de identificação e de formação de grupos homogêneos, a partir dos acessos experimentais (observações) de cada região de estudo. Para a formação dos agrupamentos, foram obtidas três classes, os quais foram divididos em função dos quartis do fluxo médio de CO_2 (Fm) para cada área em questão. Em seguida, foi realizada a análise de correlação linear simples com os atributos do solo. O critério utilizado para a classificação de cada observação foi: Classe de emissão A) representa os valores acima de 75% das observações (altos valores de Fm); Classe de emissão M) entre 25 e 75% (médios valores de Fm); Classe de emissão B) representa os valores abaixo de 25% (baixos valores Fm).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de Fm nas áreas estudadas foram $2,124 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para o município de Motuca e $1,798 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para Aparecida do Taboado, com coeficientes de variação de 41, 24 % e 51,29 %, respectivamente, sendo esses valores considerados altos ($\text{CV} > 24 \%$), segundo os critérios de classificação proposto por Warrick, Nielsen (1980) (Tabela 1). Tais emissões assemelham-se aos valores observados por outros autores, em estudos conduzidos sob o cultivo de cana-de-açúcar, na região Nordeste do Estado de São Paulo (BAHIA et al., 2015; TAVARES et al., 2016).

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 $2,12 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. E os valores calculados do EstC variaram de 6,83 a $9,03 \text{ Mg ha}^{-1}$, com valor de estocagem média de carbono de $7,81 \text{ Mg ha}^{-1}$. Em comparação ao município de Aparecida do Taboado – MS, a Fm variou de 1,06 a $5,18 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e apresentou uma emissão média de $1,79 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Para o EstC a variação observada foi de 2,62 a $12,08 \text{ Mg ha}^{-1}$, sendo o estoque médio da área $6,21 \text{ Mg ha}^{-1}$. Por meio dos valores médios, 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. Segundo Guo, Gifford et al (2002), o estoque de carbono no solo é o resultado do equilíbrio entre o balanço de entradas e saídas de carbono, e a mudança e o uso do solo, contribui para perdas significativas de CO_2 , até que um novo equilíbrio seja finalmente alcançado no novo ecossistema.

Também foi observado que a cidade de Motuca – SP apresentou maiores valores de CTC e de P, quando comparado com Aparecida do Taboado - MS, essas características são indicativas da fertilidade do solo, que mostraram que quanto maior esses índices, maior será a fertilidade do solo da área e consequentemente, maior geração de CO_2 no solo. Estudos conduzidos por Da Silva Bicalho et al. (2017), em áreas cana-de-açúcar colhida mecanicamente na região Nordeste do Estado de São Paulo, observaram que os atributos químicos estavam relacionados à produção de CO_2 no solo.

A produção de CO_2 no interior do solo é um processo complexo e está associado às atividades biológicas como a decomposição da matéria orgânica, que são influenciadas pela umidade e a temperatura do solo, sendo esses os fatores mais importantes no controle da respiração do solo. O fato de que o maior valor médio de Fm ter ocorrido na área de Motuca, $2,124 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, também, pode ser explicado pelos maiores valores médio de temperatura e umidade do solo em relação à Aparecida do Taboado $25,24^\circ\text{C}$ e 31,36 %, respectivamente.

ABORDAGEM MULTIVARIADA SOBRE A INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS DO SOLO NO

Também se observava que os atributos físicos relativos à Ds, Um e PLA contribuíram na variação dos valores de Fm, entre as áreas. A Fm é resultante da produção do CO₂ no interior do solo e está relacionada com respiração autotrófica e heterotrófica e o seu transporte até a superfície está relacionado com a textura e estrutura do solo (KANG et al., 2000). Em áreas de cana crua as variáveis Um, Ds e PLA são controladoras da emissão do CO₂ (TEIXEIRA et al., 2012; PANOSSO et al., 2012) uma vez que o maior número de agregados e macroporos facilitam as gasosas entre o solo e atmosfera (BRITO et al., 2009).

Tabela 01: Estatísticas descritivas da emissão de CO₂ 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 CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); 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 (%).

Fonte: Própria (2020)

Análise das componentes principais

A priori, foram analisados os dados comitantemente. Na análise de componentes principais foram escolhidos os atributos para maximizar a variabilidade dos dados para os componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2), para que cada área avaliada apresentasse variabilidade acumulativa maior que 50%. A representação gráfica biplot mostrou a correlação das variáveis com os componentes principais (Figura 2). Neste estudo foram considerados os dois primeiros componentes principais, CP1 e CP2, cujos autovalores são superiores à unidade (Kaiser, 1958). O primeiro componente principal, CP1, explicou 59,20% da variância total das

[10]

propriedades do solo, enquanto 14,36 % foram explicados por CP2, os quais conseguiram manter, em conjunto, 73,56 % da variabilidade das propriedades do solo. Da Silva et al. (2020) avaliaram as propriedades do solo e a variabilidade espacial no sistema de crua, em circunstâncias semelhantes a este estudo e observaram que CP1 e CP2 explicaram respectivamente 43,4 e 21,0 % da variabilidade total para Motuca e 40,6 % e 23,7% para Aparecida do Taboado. Também foi observada a formação de dois grupos distintos: grupo I, menos agrupado (ou seja, maior dispersão dos pontos na representação bidimensional), localizado no lado esquerdo do gráfico biplot de pontos, formado pelas provenientes da área experimental de Motuca, e o grupo II, localizado à direita do primeiro componente principal e formado por Aparecida do Taboado (Figura 2).

Figura 2. Gráfico Biplot dos componentes principais CP1 e CP2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais e as seguintes variáveis: emissão de CO₂ do solo (Fm), estoque de carbono no solo (EstC), porosidade livre de água (PLA), fósforo disponível (P), macroporosidade (Macro), capacidade de troca de cátions (CTC) e umidade do solo (Um).

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 (%).

Fonte: Própria (2020)

O poder discriminatório de cada variável dentro do componente foi medido pelas correlações lineares entre cada atributo do solo e o respectivo componente principal. No banco de dados, havia outras variáveis, porém somente as que apresentaram correlação foram indicadas no gráfico. 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).

Analisando-se as correlações dos atributos do solo com cada área de estudo, observa-se um grande contraste com relação aos atributos do solo, o município de Motuca apresentou maiores valores de P, CTC, Um e EstC, quando comparado com Aparecida do Taboado, que por sua vez apresentou maior PLA e Macro. Essas relações trazem informações relevantes sobre o processo de decomposição da matéria orgânica e sobre o fluxo do carbono no solo. Na região sudeste do Brasil já foram realizadas diversas pesquisas cujo o objetivo era avaliar a taxa de decomposição de diferentes quantidades de palha da cana-de-açúcar mantidas sobre o solo (RAMOS et al., 2016; SOUSA JUNIOR et al., 2017; YAMAGUCHI et al., 2017) e todos observaram que existem grandes evidências que o processo de variação da decomposição estão ligados ao clima, solo e variedade, o que resulta nas diferentes quantidades de estoque de carbono ou emissão de CO₂ que cada solo pode ter. Esta variação pode mudar conforme o manejo adotado na cultura de cobertura, a produção de biomassa, fertilidade e pH do solo, temperatura e umidade do solo, relação C:N do material, teores de celulose, hemicelulose e polifenóis, qualidade e quantidade dos nutrientes orgânicos disponíveis e condições climáticas (COSTA, SANGAKKARA, 2006; BRADY, WEIL, 2013).

Com relação aos níveis de emissão observados pela análise de agrupamentos, foi observado um contraste entre os pontos de altas (A) e baixas (B) emissões em Motuca, o que também aconteceu em Aparecida do Taboado – MS, porém observa-se a formação de uma região de sobreposição, localizada mais ao centro, com pontos de altas (A) e baixas (B) emissões, havendo uma separação na extremidade, porém com baixa intensidade (Figura 3). Essas características são correlacionadas com os atributos dos solos. Quando analisam cada área experimental, foi observado que os atributos dos solos que mais influenciaram no processo de Fm foram a PLA, a Um, CTC e P. Quando comparadas essas informações com a análise de agrupamentos, fica evidenciado que os valores de maiores emissões representados por A estão correlacionados positivamente com a PLA, CTC, P e negativamente com Um; sendo que, para os pontos de maior emissão, tem-se alta PLA, CTC, P. Já para menores valores de Fm, observam-se maiores valores de Um. Moitinho (2017) caracterizou o padrão da variabilidade espacial da emissão de CO₂ e dos atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo em área de cana-de-açúcar após as atividades de reforma e obteve a formação de grupos diferenciados

dentro de uma mesma área de estudo, sendo que, em alguns agrupamentos, a emissão de CO₂ do solo foi influenciada pela relação C/N do solo e, em outros, pela abundância do gene *pmoA* - metano monooxygenase A (relacionado ao ciclo do carbono), enzimas desidrogenase, urease e amilase.

Figura 3: Variáveis em três classes de grupos de emissão de CO₂ no solo para Motuca (1) e Aparecida do Taboado (2).

Fonte: Própria (2018)

No estudo da área experimental Motuca, o CP1 explicou 39,86% da variância total dos dados utilizados, em vista de que o CP2 explicou 19,82%, totalizando 59,68% (Figura 4). As variáveis com maior importância, isto é, as que mais contribuíram para o CP1 e com poder maior de discriminação foram a PLA e Fm com correlações positivas ($r = 0,96$ e $r = 0,80$, respectivamente) e a Um com correlação negativa ($r = -0,87$). Por sua vez, o CP2 apresentou correlação positiva para as variáveis relevantes: CTC ($r = 0,42$) e EstC ($r = 0,76$). Claramente, observa-se na interpretação de CP1 um contraste entre PLA e a Um, que por sua vez afeta a Fm, já em CP2 observa-se a fertilidade do solo, expressada pela CTC, interferindo no EstC (Figura 4).

Os valores medidos do fator k variaram de $1,4$ a $3,9 \times 10^{-3} \text{ tempo}^{-1}$, com Estc variando de $7,2$ a $8,7 \text{ Mg ha}^{-1}$. Isto mostrou que existe uma associação entre os pontos amostrais. Quando são observados com maiores valores do fator k , tem-se valores menores de Estc e valores maiores de Fm, formando assim uma região para a atmosfera de fonte de carbono. Porém também foram observados valores menores de k , que resultou em menores valores de Fm e maiores valores de EstC, expressando uma região de potencial acúmulo de carbono nessa área. Esses processos foram influenciados pelos atributos que compuseram as componentes

principais, mostrando que essas variáveis podem ser usadas para a determinação de zonas de específicos manejos dentro de uma mesma área de estudo, sendo que a Um e a PLA estão fortemente correlacionadas com a Fm, pois interferem diretamente no processo de transporte do gás no interior do solo. Por outro lado, observa-se a CTC influenciando na fertilidade do solo e na manutenção da matéria orgânica e na atividade da microbiota do solo, o que pode resultar na maior produção do CO₂ ou armazenamento do carbono no solo.

Figura 4: Gráfico Biplot dos componentes principais CP1 e CP2 da análise de componentes principais para o município de Motuca – SP e suas seguintes variáveis: emissão de CO₂ do solo (Fm), estoque de carbono no solo (Estc), porosidade livre de água (PLA), fósforo disponível (P), macroporosidade (Macro), capacidade de troca de cátions (CTC) e umidade do solo (Um).

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 (%).

Fonte: Própria (2020)

Já no estudo da área experimental de Aparecida do Taboado, o CP1 explicou 29,43 % da variância total dos dados usados, ao passo que o CP2 explicou 21,60%, totalizando 51,03 % (Figura 5). As variáveis com maior poder discriminante, isto é, aquelas que mais influenciaram o CP1, foram a Um, com correlação negativa ($r = -0,99$), e a PLA, com correlação positiva ($r = 0,99$). Logo, o CP2 mostrou correlação negativa para as variáveis P ($-0,51$), CTC ($r = -0,63$) e

EstC ($r = -0,68$), mostrando conjunta ação desses dois atributos do solo (Figura 5). Assim como Motuca, a análise dos componentes principais mostrou que os atributos dos solos que mais influenciaram no processo de Fm foram a PLA e a Um. Porém, o fator que foi determinante para a variação da estabilidade do carbono no solo, foram os atributos químicos, impulsionados principalmente pela CTC e P, evidenciando que os valores de maiores emissões representados por A estão correlacionados positivamente com a PLA, CTC e P, e negativamente com Um, sendo que, para os pontos de maiores emissões, tem-se alta PLA, CTC e P; já para menores valores de Fm, observam-se maiores valores de Um.

Figura 5: Gráfico Biplot dos componentes principais CP1 e CP2 da análise de componentes principais para o município de Aparecida do Taboado e suas seguintes variáveis: emissão de CO₂ do solo (Fm), estoque de carbono no solo (Estc), porosidade livre de água (PLA), fósforo disponível (P), macroporosidade (Macro), capacidade de troca de cátions (CTC) e umidade do solo (Um).

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 (%).

Fonte: Própria (2020)

Os valores do k na área de estudo de APT ficaram entre de 2 e $3,15 \times 10^{-3} \text{ tempo}^{-1}$, com Estc variando de 5,8 a $7,05 \text{ Mg ha}^{-1}$. Foi observado o por meio do valor de k , dentro da área estudada, uma zona de acúmulo de carbono, pois foram devido aos menores valores de k , são

observados os maiores valores de estoque de carbono na área. Porém também são encontrados pontos em que o tem-se maiores valores do fator k, resultando em regiões de pouca estabilidade do carbono, ligados aos valores menores de EstC na área e representando potenciais pontos de emissão de CO₂.

Esses processos foram influenciados pelos atributos que compulseram as componentes principais, mostrando que essas variáveis podem ser usadas para a determinação de zonas de específicos manejos dentro de uma mesma área de estudo, sendo que mesma mostrou altos valores de P e CTC, e conseqüentemente, valores maiores de fator k, estabilidade do carbono baixa no solo. Porém também foram observados valores menores valores de k, isto é, regiões de maior estabilidade do carbono no solo (menor emissão de CO₂ para a atmosfera).

Da Silva et al (2020) estudaram a variabilidade espacial do fator k em áreas comerciais de cana-de-açúcar, causadas pelas estruturas multivariadas de perdas de carbono em solos agrícolas cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com os atributos do solo e observaram coeficientes de correlação significativos entre os componentes principais e os mapas do fator k em todas as áreas de estudo, sendo que os atributos físicos do solo foram os maiores causadores da emissão de CO₂, em áreas de cana-de-açúcar crua, no estado de São Paulo. Já no Mato Grosso do Sul, as propriedades químicas do solo foram os principais responsáveis pela alteração dos padrões espaciais de estabilidade do carbono no solo. Além disso, também observaram que dentro de uma mesma área, ocorreram mudanças nos padrões espaciais de k, indicando regiões de potencial acúmulo de carbono no solo em áreas de cultivo de cana-de-açúcar.

CONCLUSÕES

Foram observados coeficientes de correlação significativos entre os componentes principais e o fator k em todas as áreas de estudo, onde os atributos físicos do solo foram os principais responsáveis pela emissão de CO₂, em áreas de cana-de-açúcar crua, no município de Motuca, no Estado de São Paulo. Já no município de Aparecida do Taboado - MS, as propriedades químicas do solo foram os principais responsáveis pela alteração dos padrões espaciais de estabilidade do carbono no solo.

Os resultados mostraram que dentro de uma mesma área, ocorreram mudanças nos padrões espaciais de k, levando à ocorrência de regiões com potencial de acúmulo ou sequestro de carbono no solo em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, sendo estas informações que podem ser utilizadas para melhorar o desempenho das práticas agrícolas, principalmente aquelas relacionadas ao preparo do solo, uso de insumos agrícolas, acúmulo de MO na forma de palha,

manejo da água, teor de água no solo e principalmente promover a mitigação dos gases do efeito estufa.

REFERÊNCIAS

BAHIA, A. S. R. S.; MARQUES JR, J.; PANOSSO, A. R.; CAMARGO, L. A.; SIQUEIRA, D. S.; TEIXEIRA, D. B.; LA SCALA JR, N. Field-scale spatial correlation between iron oxides and CO₂ emission in an Oxisol with sugarcane. *Scientia Agricola*, v. 72, n., p. 157-166, 2015.

BALL, B. C.; SMITH, K. A. Gas movement. In: Smith KA, Mullins CE (Eds.) *Soils analysis: physical methods*. New York: Marcel Dekerp, p. 511-549. 1991.

BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; MIRANDA, J. G. V.; PEREIRA, G. T.; N LA SCALA JR. Spatial variability structure of soil CO₂ emission and soil attributes in a sugarcane area. *Agriculture Ecosystems Environment*, v.189, p.206-215, 2014.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. 3.ed. Porto Alegre-RS: Bookman, 2013. 704p.

BRITO, L. F.; MARQUES JR., J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA, N. Soil CO₂ emission of sugarcane fields as affected by topography. *Scientia Agricola*, v. 66, n. 1, p. 77-83, 2009.

BUSSAB, W. DE O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. DE. *Introdução à análise de agrupamentos*, São Paulo. Associação Brasileira de estatística. 9º Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística, 1990. 105 p.

CANELLAS, L. P.; BUSATO, J. G.; DOBBS, L. B.; BALDOTTO, M. A.; RUMJANEK, V. M.; OLIVARES, F. L. Soil organic matter and nutrient pools under long-term non-burning management of sugarcane. *European Journal of Soil Science*, West Sussex, v. 61, n. 3, p. 375–383, 2010.

CARVALHO, J. L. N.; NOGUEIROL, R. C.; MENANDRO, L. M. S.; BORDONAL, R. O.; BORGES, C. D.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J. Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. *Global Change Biology Bioenergy*, West Sussex, p. 1–15, 2016.

COSTA, W.A.J.M.D.; SANGAKKARA, U.R. Agronomic regeneration of soil fertility in tropical Asian smallholder uplands for sustainable food production. *Journal of Agricultural Science*, v.144, p.111-133, 2006.

DA SILVA BICALHO, E., MOITINHO, M.R.; TEIXEIRA DE BORTOLI, D., PANOSSO, A.R.; SPOKAS, K.A.; LA SCALA N. Soil Greenhouse Gases: Relations to Soil Attributes in a Sugarcane Production Area. *Soil Sci Soc Am J* 81: 1168-1178. 2017.

DA SILVA, P. A.; DE LIMA, B. H.; LA SCALA JR, N.; PERUZZI, N. J.; CHAVARETTE, F. R.; PANOSSO, A. R. Spatial variation of soil carbon stability in sugarcane crops, central-south of Brazil. *Soil and Tillage Research*, 202, 104667, 2020.

DASSELAAR, A.; CORRE, W. J.; PRIEME, A.; KLEMEDTSSON, A. K.; WESLIEN, P.; STEIN, A.; KLEMEDTSSON, L.; OENEMA, O. Spatial variability of methane, nitrous oxide, and carbon dioxide emissions from drained grasslands. *Soil Science Society of America Journal*, v. 62, n. 3, p. 810-817, 1998.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division. 2014. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 01 out. 2020.

GUO, L.B; GIFFORD R.M. *Global Change Biology*, 8 pp. 345, 2002.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *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, 2007.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2014: 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, 2014.

ISAACS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *Applied geostatistics*. Nova York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 2007. 773p.

Kaiser, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *New York, Psychometrika*, 23:187-200, 1958.

KANG, S.; KIM, S.; OH, S.; LEE, D. Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover, and air temperature. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 136, n. 1–3, p. 173–184, 2000.

LYBBERT, T. J.; SUMNER, D. A. Agricultural technologies for climate change in developing countries: Policy options for innovation and technology diffusion. *Food Policy*, v. 37, n. 1, p. 114-123, 2012.

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* 148, 127-132, 2015.

MOITINHO, M. R. Variabilidade da emissão de CO₂ do solo sob diferentes manejos em áreas de cana-de-açúcar. **Dissertação (Doutorado em Agronomia)** – Unesp, Jaboticabal, 126 f., 2017.

PACKER, A. P. et al. Sugarcane field renovation: Influence of tillage and no-tillage in the emission of greenhouse gases (GHG). *Geophysical Research Abstracts*, 17:EGU2015- 14570, 2015.

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. Amsterdam, Soil Tillage Research, 111:190–196. (2011).

PANOSSO, A. R.; PERILLO, L. I.; FERRAUDO, A. S.; PEREIRA, G. T.; MIRANDA, J. G. V.; LA SCALA JR, N. Fractal dimension and anisotropy of soil CO₂ emission in a mechanically harvested sugarcane production area. Soil & Tillage Research, v. 124, n., p. 8-16, 2012.

RAMOS, N.P.; YAMAGUCHI, C.S.; PIRES, A. M. M.; ROSSETTO, R.; POSSENTI, R. A.; PACKER, A. P.; CABRAL, O. M. R.; ANDRADE, C. A. Decomposição de palha de cana-de-açúcar recolhida em diferentes níveis após a colheita mecânica. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, n. 9, p. 1492-1500, 2016.

SMITH, P.; BUSTAMANTE, M.; AHAMMAD, H.; CLARK, H.; DONG, H.; ELSIDDIG, E. A.; HABERL, H.; HARPER, R.; HOUSE, J.; JAFARI, M.; MASERA, O.; MBOW, C.; RAVINDRANATH, N. H.; RICE, C. W.; ABAD, C. R.; ROMANOVSKAYA, A.; SPERLING, F.; TUBIELLO, F. N.; BOLWIG, S. Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, 2014. p. 811–922.

SOUSA JUNIOR, J. G. A. Decomposição de diferentes doses de palhada de cana-de-açúcar e seu efeito sobre o carbono do solo. Tese de Doutorado (Programa de pós-graduação em Ciências). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 91p. 2015.

TAVARES, R. L. M.; OLIVEIRA, S. R. D. M.; BARROS, F. M. M. D.; FARHATE, C. V. V.; SOUZA, Z. M. D.; JUNIOR, S.; LA SCALA JR, N. Prediction of soil CO₂ flux in sugarcane management systems using the Random Forest approach. Scientia Agricola, v. 75, n. 4, p. 281-287, 2018.

TAVARES, R. L. M.; SIQUEIRA, D. S.; PANOSSO, A. R.; CASTIONI, G. A.; DE SOUZA, Z. M.; LA SCALA JR, N. Soil management of sugarcane fields affecting CO₂ fluxes. Scientia Agricola, v. 73, n. 6, p. 543-551, 2016.

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. Viçosa-MG, Revista Brasileira Ciência do Solo, 36: 1466- 1475, 2012.

VERMEULEN, S. J.; CAMPBELL, B. M.; INGRAM, J. S. I. Climate change and food systems. Annual Review of Environment and Resources, Palo Alto, v. 37, p. 195–222, 2012.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field, In: Hillel, D. (Ed.), Applications of soil physics, New York: Academic Press. p. 319-344, 1980. YAMAGUCHI, C.S.; RAMOS, N. P.; CARVALHO, C. S.; PIRES, A. M. M.; ANDRADE, C. A. Sugarcane straw decomposition and carbon balance as a function of initial biomass and vinasse addition to soil surface. Bragantia, v. 76, n. 1, p.135-144, 2017.

ABORDAGEM MULTIVARIADA SOBRE A INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS DO SOLO NO

WEBSTER, R.; OLIVER M. A. Statistical methods in soil and land resource survey. New York: Oxford University Press, 1990. 328 p.