

ABORDAGEM MULTIVARIADA DA ESTABILIDADE DO CARBONO DO SOLO SOB O CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO CERRADO BRASILEIRO

Paulo Alexandre SILVA^(1*); Bruno Horschut de LIMA⁽²⁾; Alan Rodrigo PANOSSO⁽³⁾; Newton LA SCALA Júnior⁽⁴⁾; Nelson José PERUZZI⁽⁵⁾; Fabio Roberto CHAVARETTE⁽⁶⁾.

⁽¹⁾Departamento de Ciências de Exatas; Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, SP, Brasil; ⁽²⁾Departamento de Matemática; Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, SP, Brasil; ⁽³⁾Departamento de Ciências de Exatas; Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, SP, Brasil; ⁽⁴⁾Departamento de Ciências de Exatas; Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, SP, Brasil; ⁽⁵⁾Departamento de Ciências de Exatas; Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, SP, Brasil; ⁽⁶⁾Departamento de Matemática; Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, SP, Brasil

RESUMO: A constante de decaimento (k) pode ser usada na escolha do manejo do solo e também descreve a variabilidade da estabilidade do carbono no solo, que é dependente das interações dos atributos físicos, químicos e biológicos. O objetivo foi determinar a estrutura da variabilidade espacial das perdas de carbono do solo, expressa pelo k, e sua relação com os atributos do solo, em áreas de cana-de-açúcar, na região do Cerrado Brasileiro. O experimento foi conduzido em uma área de plantio comercial de cana-de-açúcar, localizada no município de Aparecida do Tabuado (APT), no Mato Grosso do Sul. A determinação da emissão de CO₂ do solo foi registrada pelo sistema LI-COR (LI-8100). A abordagem multivariada indicou que os componentes principais 1 e 2 (CP1 e CP2), explicaram 40,57% e 23,66% da variabilidade total contida nos dados, respectivamente. Os atributos físicos do solo apresentaram correlações significativas com CP1, indicando o contraste entre a porosidade livre de água e umidade do solo. Em CP2, as correlações dos atributos químicos mostraram uma ação conjunta entre a capacidade de troca de cátions e o teor de fósforo disponível do solo, ligadas à fertilidade do solo. A análise de correlação apresentou padrões espaciais do k com o CP1 e CP2 negativos e significativos. Os resultados indicam que o potencial de acúmulo do carbono no solo apresenta alta variabilidade espacial em pequena escala, assim, na mesma área ocorreram alterações nos padrões espaciais do k, havendo regiões com potencial para acúmulo ou fonte de carbono nas áreas cultivadas com a cana-de-açúcar, propondo assim, regiões de manejo específico.

Palavras-chave: variabilidade espacial; análise de componentes principais; atributos físicos e químicos do solo.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor de alimentos e o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Na safra 2017/2018 a área plantada foi em torno de 8,74 milhões hectares e produção 635,6 milhões de toneladas. O estado do Mato Grosso do Sul, pertencente ao cerrado é o quarto maior produtor do país, produzindo cerca de 7,8%, em 665,4 mil de hectares (CONAB, 2017).

O uso adequado das práticas de manejo do solo é muito importante para o processo de mitigação da emissão dos GEE do solo. As pesquisas mostram que as práticas de reforma do canavial, promovem perdas expressivas do carbono presente no solo na forma de CO₂, principalmente em períodos curtos, assim, sendo observadas alterações nas características dos atributos químicos, físicos e biológicos, além das variações de umidade e temperatura do solo (SALTON JC; MIELNICZUK J, 1995; LA SCALA et al., 2006; MOITINHO et al., 2013).

A constante de decaimento do carbono (k) determinada a estabilidade do carbono e mostra o potencial de emissão de CO₂ (dióxido de carbono) em um ponto específico da área de estudo, podendo ser usada para a tomada de decisão, em relação ao uso e manejo do solo. Para analisar essas informações na forma de imagem, pode-se usar a geoestatística, que por meio da krigagem permite a geração mapas, auxiliando na escolha do manejo a ser adotado na área. Com isso é possível realizar o georreferenciamento das propriedades físicas, químicas (MONTANARI et al., 2010; CORRÊA et al., 2015) e biológicas do solo, correlacionando-as com o potencial produtivo. Segundo BRITO et al. (2009), a caracterização da variabilidade espacial da emissão de CO₂ pela geoestatística, traz informações relevantes sobre a distribuição espacial, auxiliando a compreensão da dinâmica do CO₂ entre a atmosfera e o solo.

O objetivo deste trabalho foi determinar a estrutura multivariada da variabilidade espacial das perdas de carbono, via emissões de CO₂, nos solos agrícolas do Cerrado Brasileiro, sob uma área comercial cultivada com a cana-de-açúcar, e analisar a sua relação com os atributos físicos e químicos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área comercial sob o cultivo de cana-de-açúcar, no sistema de manejo de cana crua, em Aparecida do Tabuado – MS. O solo é Latossolo Vermelho distroférico com textura argilosa e o clima é o Aw, com temperatura média anual de 23,7 °C. A emissão de CO₂ do solo (FCO₂) e a temperatura do solo foram registradas pelo sistema LI-COR (LI-8100). Após a finalização dessas medições, foram coletadas as amostras de solo na profundidade de 0 a 0,10 m e peneiradas na malha de 2 mm. Dessas, foram extraídos os atributos químicos do solo: capacidade de troca de cátions (CTC) e o teor de fósforo disponível no solo. Para os atributos físicos foram usados a umidade do solo, medida pelo equipamento de TDR (Time Domain Reflectometry - Hydrosense TM, Campbell Scientific, Austrália), e a porosidade livre de água e macroporosidade, medidas por meio da densidade do solo.

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:

$$Estc = (CO \times Ds \times E) \times 0,1 \quad (1)$$

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).

Para a determinação do decaimento ou a constante de decaimento k (tempo⁻¹) realiza-se o seguinte cálculo expresso pela equação 2:

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

Onde: k = constante de decaimento (tempo⁻¹); Fm = emissão de carbono CO₂ determinado na área de estudo (Mg ha⁻¹ tempo⁻¹); Estc é o estoque de carbono do solo (Mg ha⁻¹).

Para a análise das componentes principais foram avaliados os seguintes conjuntos de atributos do solo: Umidade do solo (Um), porosidade livre de água do solo (PLA), macroporosidade do solo (Macro), teor de Fósforo disponível no solo (P) e capacidade de troca de cátions do solo (CTC). Para a análise dos resultados foram utilizados os componentes principais (CPs) que apresentaram os autovalores maiores do que a unidade (KAISER, 1958).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação dos valores mensurados para os Estc foram entre 2,62 a 12,8 Mg ha⁻¹. Em contrapartida, o k que é a representação da estabilidade do carbono foi entre 1,2 a 8,17×10⁻³ tempo⁻¹ (Tabela 1). Observa-se que as regiões com baixa estabilidade do carbono estão associadas a valores de k maiores, isto é, carbono prontamente decomponível à ação microbiana, onde os pontos amostrais são tidos como fontes potenciais de emissão de CO₂. No entanto, regiões com maior estabilidade do carbono mostram menores valores de k, consideradas eventualmente zonas de acúmulo ou potenciais sumidouros de carbono no solo.

Tabela 1: Estatística descritiva da emissão de CO₂ e dos atributos físicos e químicos do solo para a cidade de Aparecida do Tabuado.

Atributos do solo	Média	DP	Max/Min	CV
Fm	1,71	0,64	5,18 / 0,73	37,49
Um	9,46	1,16	15,18 / 5,98	12,23
PLAm	39,14	1,16	42,62 / 33,42	2,95
Ds	1,47	0,12	1,75 / 1,21	8,00
Macro	10,62	4,87	22,53 / 3,33	45,82
PT	43,05	4,55	54,22 / 32,06	10,58
P	9,05	2,81	24,67 / 5,33	31,00
CTC	58,73	8,27	81,08 / 38,72	14,08
Estc	6,47	1,22	12,08 / 2,62	18,82
K	2,66	1,05	8,17 / 1,2	39,49

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, pelo teste *t-Student*, significativo ao nível de 5% de probabilidade. DP = desvio-padrão, Max = Máximo, Min = Mínimo, CV = coeficiente de variação (%), Fm = Fator de emissão de CO₂ (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), Um = umidade do solo (%), PLAm = porosidade livre de água média (%), Ds = densidade do solo (kg dm⁻³), Macro = macroporosidade (%), PT = fósforo total (mg dm⁻³), P = fósforo disponível (mg dm⁻³), CTC = capacidade de troca de cátions (mmolc dm⁻³), Estc = estoque de carbono no solo (Mg ha⁻¹) e k = constante de decaimento (10⁻³ tempo⁻¹).

Na análise dos componentes principais foram escolhidos atributos para maximizar a variabilidade dos dados para os componentes principais 1 (CP1) e componente principal 2 (CP2), para que cada área avaliada apresentasse variabilidade acumulativa maior que 50%. Para essas análises não foram selecionadas as variáveis como o fator k, emissão de CO₂ e estoque de carbono.

Tabela 2: Coeficientes de correlação linear entre os quadrantes (Q1, Q2, Q3 e Q4) dos mapas de padrões espaciais do fator k e dos componentes principais 1 e 2 nas áreas estudadas de cana-de-açúcar em sistema de cana crua.

Quadrantes	CP1	CP2
	Fator k	
Q1	-0.52*	-0.63*
Q2	-0.51*	0.14
Q3	0.06	0.83*
Q4	-0.62*	-0.57*
Estoque de carbono		
Q1	-0.09	0.21
Q2	0.4	-0.26
Q3	-0.32	-0.83
Q4	0.36	-0.11

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t-Student.

No estudo de APT o CP1 explicou 40,57% da variância total dos dados usados, ao passo que o CP2 explicou 23,66%, totalizando 64,23%. As variáveis com maior poder discriminante do CP1 foram a Um com correlação negativa ($r = -0,98$) e a PLA com correlação positiva ($r = 0,97$). Logo o CP2 mostrou correlação negativa para as variáveis CTC ($r = -0,70$) e P ($r = -0,69$), mostrando conjunta ação desses dois atributos do solo (Figura 1).

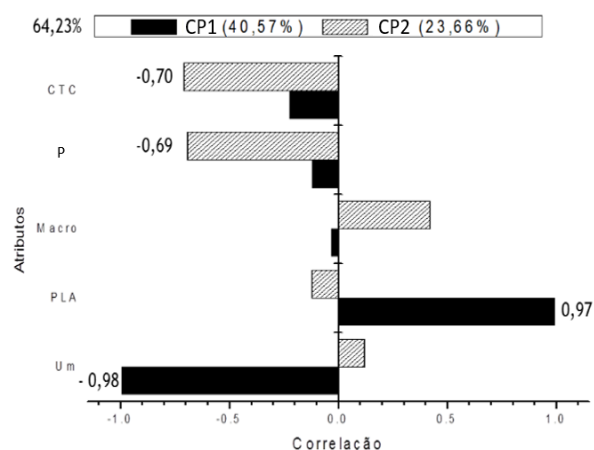


Figura 1: Análise dos componentes principais indicando o coeficiente de correlação entre os componentes principais e as variáveis em três classes de grupos de emissão de CO₂ no solo para APT.

Os valores do k na área de estudo de APT ficaram entre de 2 e 3,15 × 10⁻³ tempo⁻¹, com Estc variando de 5,8 a 7,05 Mg ha⁻¹. A região IV do mapa de padrão espacial do k mostrou dentro da área estudada uma zona de acúmulo de carbono, visto que os mapas de variabilidade apresentam menores valores de k, ligados aos maiores valores de estoque de carbono na área. Já a região II aponta maiores valores do fator k, isto é, uma região de pouca estabilidade do carbono, ligados aos valores menores de Estc na área. A região tem potencial para ser fonte de emissão de carbono para a atmosfera. No entanto, a região I foi considerada intermediária quando comparada essas duas regiões, pois mostrou valores menores de k ligados às emissões maiores e valores maiores de estoque de carbono, apresentando a influência de outros atributos do solo (Figura 2).

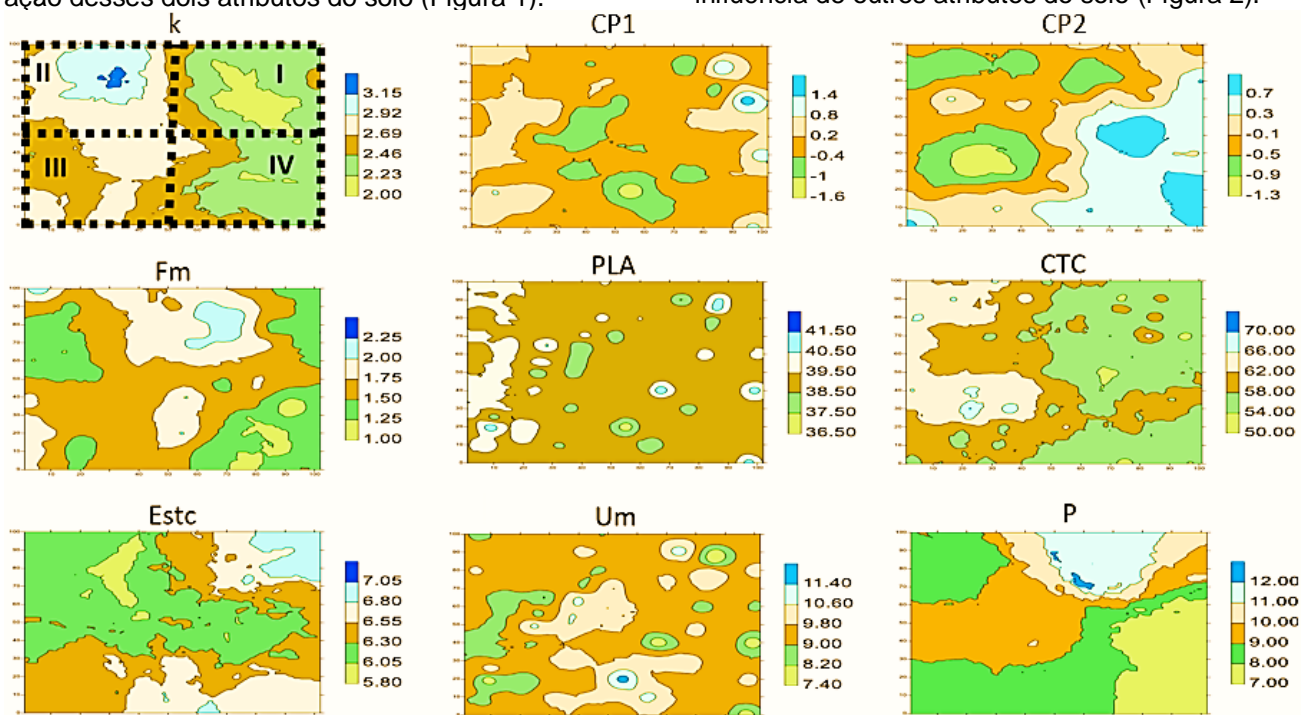


Figura 2: Padrões espaciais dos atributos de APT. Fator k (10⁻³ tempo⁻¹), Fm (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), Estc (Mg ha⁻¹) Pla (%), P (mg dm⁻³), Um (%) e CTC (mmolc dm⁻³), CP1 e CP2 (componente principal 1 e 2).

A avaliação da correlação entre os padrões de variabilidade (Tabela 2) mostrou correlação negativa e significativa para a CP1 no primeiro quadrante, isto é, na região I. Logo, valores maiores de k estão ligados aos valores menores de CP1, que mostram os valores maiores de umidade do solo nessas áreas. Diferente dos demais resultados, para essa região, a umidade do solo foi o fator limitante à atividade microbiana.

Para os padrões espaciais, o fator k foi significativamente correlacionado aos padrões de CP2, negativo para os quadrantes 1, 3 e 4, sendo assim a zona de manejo denominada região III (Figura 18), onde os valores maiores de CP2 apontam as regiões de maior fertilidade do solo mostrada pelos altos valores de P e CTC, e consequentemente valores maiores de fator k, estabilidade do carbono baixa no solo. Já as regiões I e IV apresentaram valores maiores de scores de CP2, de fertilidade do solo menor e menores valores de k, isto é, regiões de maior estabilidade do carbono no solo (menor emissão de CO₂ para a atmosfera).

CONCLUSÃO

Os resultados mostram que dentro de uma mesma área, existiram mudanças nos padrões espaciais do fator de decaimento do carbono no solo, ocorrendo em áreas de cana-de-açúcar regiões com potencial para o acúmulo ou sequestro de carbono no solo.

Foram observados que os atributos físicos e químicos do solo estão ligados ao processo de transporte e produção de CO₂ no solo, respectivamente. Os coeficientes de correlação significativos foram demonstrados entre os componentes principais e o mapa do fator k, onde os atributos químicos do solo foram os principais responsáveis pela emissão de CO₂, por meio da perda de carbono do solo em áreas de cana-de-açúcar no sistema de cana crua.

Dessa forma, seria possível propor zonas de manejo específicos, determinadas pelas relações entre a estabilidade do carbono no solo e as componentes principais, visando melhorar o rendimento das práticas agrícolas, principalmente as que estão ligadas ao preparo e drenagem do solo, ao uso de insumos agrícolas e ao acúmulo de MO na forma de palhada, visando promover a maior conservação do solo e a mitigação da formação dos gases causadores do efeito estufa, por meio do sequestro de carbono no solo.

Contudo, para o melhor entendimento da estabilidade do carbono no solo são necessários novos estudos com as informações do tempo de conversão do canavial para o sistema de cana crua, a longevidade do canavial e o grau de humificação da matéria orgânica que são fatores que podem interferir no acúmulo ou emissão de carbono do solo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITO, L. F.; MARQUES, J. R. J.; PEREIRA, J. T.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA, J. R. N. Soil CO₂ emission of sugarcane field as affected by topography. Piracicaba, Scientia Agricola, 66: 77-83, 2009.

CONAB (2017) Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em 10 set. 2018. CORRÊA, A.R.; MONTANARI, R.; LAURA, V. A.; MELOTTO, A. M.; SILVA, E. N. S. D.; PELLIN, D. M. P.; SANTOS, A. S. D. Aspects of the silvopastoral system correlated with properties of a typic quartzipsamment (entisol) in Mato Grosso do Sul, BRAZIL. Viçosa, Revista Brasileira de Ciência do Solo, 39: 438-447, 2015.

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

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. Amsterdam, Soil & Tillage Research, 91: 244-248. 2006.

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. Viçosa-MG, Revista Brasileira de Ciência do Solo, 37: 1720-1728, 2013.

MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F. C.; LOVERA, L. H.; HONORATO, M. A. O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. Viçosa-MG, Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34: 1811-1822, 2010.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). Viçosa, Revista Brasileira de Ciência do Solo, 19: 313-319, 1995.