



ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA EMISSÃO DE CO₂ E MACROPOROSIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO SOB CANA-DE-AÇÚCAR

Rose Luiza Moraes Tavares¹, Milton César Costa Campos², Zigomar Menezes de Souza³ & Newton La Scala⁴

RESUMO: O estudo da emissão de CO₂ do solo em sistemas de manejo de cana-de-açúcar é um importante indicativo da qualidade do solo e um enfoque que pode elucidar a alguns questionamentos sobre a eficiência da conversão do sistema de cana queimada em cana crua. Baseado nisso, este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial da emissão de CO₂ e macroporosidade do solo em sistemas de cana-de-açúcar com e sem queima. Nas áreas em estudo foi instalada uma malha amostral (100 x 100 m) com pontos espaçados em 1, 2 e 10 m. A avaliação de CO₂ foi realizada nos pontos da malha amostral de forma simultânea, nas duas áreas, por 9 dias das 7:00 as 11:00 h, com auxílio de câmaras de solo (modelo LI-8100). Amostras indeformadas foram coletadas na camada superficial do solo (0,00-0,10 m) com auxílio de anéis volumétricos de kopeck para análises de densidade, macro e microporosidade do solo. A emissão de CO₂ e macroporosidade do solo apresentaram tendências similares na análise descritiva e geoestatística, ou seja, pode-se concluir que a macroporosidade do solo influenciou a emissão de CO₂ em sistemas de manejo de cana-de-açúcar.

PALAVRAS-CHAVE: variabilidade espacial, macroporosidade, respiração do solo, cana crua, *Saccharum spp.*

GEOSTATISTICAL ANALYSIS OF CO₂ EMISSION AND MACROPOROSITY OF RED LATOSOL EUTROFERRIC UNDER SUGARCANE CULTIVATION

ABSTRACT: Soil CO₂ emission is an important soil quality indicator and an approach that can answer questions about the efficiency conversion from “burnt cane” to “green cane” systems. This work aimed to evaluate the spatial variability of CO₂ emission and soil macroporosity attributes from sugarcane cultivation systems with and without burning. A sample grid (100 x 100 m) with points spaced at 1, 2 and 10 m was installed in experimental areas. CO₂ evaluation was carried out at the all points grid in the both areas simultaneously, for 9 days, from 7:00 to 11:00 h, with soil chambers (model LI-8100). Undeformed soil samples were collected from superficial soil depth (0.00-0.10 m) using volumetric rings for soil bulk density, macro and microporosity analyzes. CO₂ emission and macroporosity showed similar trends in descriptive and geostatistical analysis. Therefore, it can be concluded that soil macroporosity influenced CO₂ emission in sugarcane management systems.

KEYWORDS: Geostatistic. Macroporosity. Soil respiration. *Saccharum spp.*

1 INTRODUÇÃO

A queima do canavial antes da colheita é uma prática usual no Brasil, pois facilita o corte manual, porém, esse processo tem sido questionado em relação aos seus efeitos na qualidade do solo, como a perda de carbono. No caso do estado de São Paulo, a adoção da colheita mecanizada e sem queima do canavial é inevitável e foi decretada por lei estadual (47.700, de 11 de março de 2003), sendo que durante a queima do canavial, em média, 9kg de CO₂ por tonelada de cana são emitidos para a atmosfera (MOITINHO et al., 2016).

A contribuição do solo na emissão de CO₂ para atmosfera é resultado de processos físicos e biológicos. A produção do gás é resultado da ação dos microrganismos e da respiração das raízes das plantas

(processos biológicos). Já o transporte de CO₂ depende da estrutura física do solo, principalmente da porosidade que condiciona o fluxo de gases no solo (TAVARES et al., 2016).

Segundo Brito et al. (2009), a emissão de CO₂ é maior em solos com menor densidade e maior quantidade de agregados e macroporos. Da mesma forma, estudos realizados por Iamaguti et al. (2015) indicaram correlação negativa da densidade do solo com a emissão de CO₂ em área canavieira sob diferentes preparos do solo em Barrinha-SP.

O estudo da variabilidade espacial da emissão de CO₂ na agricultura é importante para a sustentabilidade de culturas, auxiliando na manutenção do carbono do solo e redução da emissão de gases causadores do efeito estufa (PANOSSO et al., 2008), também fornece importantes

^{1 2 3 4 5} E-mails: roseluizamt@gmail.com ; mcesarsolos@gmail.com ; zigomarms@feagri.unicamp.br ; lascal@fcav.unesp.br

informações em relação à dinâmica de CO₂ no solo (BRITO et al., 2009) e na tentativa de modelar a dependência espacial da emissão do gás do solo (PANOSSO et al., 2009).

Práticas de manejo que resultam em modificações na matéria orgânica do solo e influenciam nos atributos físicos e químicos do solo afetam diretamente a atividade microbiana e consequentemente a emissão de CO₂. Apesar de todos os esforços, ainda são necessários estudos a respeito das mudanças nos atributos do solo quando se considera a conversão do agroecossistema de cana queimada para cana crua e como este processo poderá afetar nas perdas de carbono do solo por meio da emissão de CO₂. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a variabilidade espacial da emissão de CO₂, densidade e porosidade do solo em sistemas de cana-de-açúcar com e sem queima.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em duas áreas de cana-de-açúcar localizadas no município de Pradópolis-SP (21°21'43" de latitude sul e 48°04'18" de longitude oeste, 438 m de altitude), com topografia variando de plana a suave ondulada e solo classificado como Latossolo Vermelho eutroférrico, textura argilosa (média de 494 g kg⁻¹ de argila). O clima na região é do tipo B2rB'4a' de acordo com sistema de classificação de Thornthwaite, que caracteriza-se por dias quentes e úmidos no verão e um período de estiagem de abril a setembro.

As áreas de estudo foram cultivadas com cana-de-açúcar em dois manejos: (1) cana-de-açúcar com queima e corte manual, desde a década de 1980 e (2) cana-de-açúcar sem queima e corte mecanizado, com 5 anos da conversão de cana queimada para cana crua.

Em cada área foi instalada uma malha amostral contendo 81 pontos espaçados em intervalos de 1, 2 e 10 m, totalizando uma área de 1 ha, sendo todos os pontos georreferenciados com auxílio de uma estação total (modelo TC 305 Leica®) e DGPS (L1/L2 Hiper Lite Plus).

A avaliação de CO₂ foi realizada nos pontos da malha amostral de forma simultânea nas áreas de estudo por 9 dias, no mês de julho de 2012, pelas manhãs (7:00 as 11:00 horas), com auxílio de câmaras de solo (modelo LI-8100), cujo equipamento é um sistema fechado com volume interno de 991 cm³, área de contato com o solo de 71,6 cm² e colocado sobre colares de PVC previamente inseridos no solo na profundidade de 3 cm.

Os resultados da emissão de CO₂ apresentados representam o período úmido de um estudo maior envolvendo análises de CO₂ em dois períodos (seco e úmido) publicado em Tavares et al. 2015 e 2016.

Amostras indeformadas foram coletadas na camada superficial do solo (0,00-0,10 m) com auxílio de anéis volumétricos (0,04 x 0,05 m). Além da macroporosidade

(Ma), foi avaliada a microporosidade (Mi) e a densidade (Ds) do solo segundo o manual de análises físicas da Embrapa (2011).

Foi utilizada estatística descritiva e teste t ($p \leq 0,05$) para avaliar o efeito dos sistemas de manejo nos atributos do solo, utilizando-se para isto o programa SAS (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997) e para análise gráfica dos dados foi utilizado o programa SigmaPlot versão 9.01. A dependência espacial foi analisada por meio de ajustes de variogramas com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada por:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

em que N (h) é o número de pares de pontos de observação Z(x_i) e Z (x_i + h) separados por uma distância h. O variograma é representado pelo gráfico $\hat{\gamma}(h)$ versus h. Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados foram estimados os coeficientes do modelo teórico para o variograma (efeito pepita, C₀; patamar, C₀+C₁; e o alcance, a).

Os modelos de variogramas considerados foram o esférico, exponencial, linear e gaussiano, sendo ajustados por meio do programa GS⁺ (versão 9.0) (ROBERTSON, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo variograma, foi considerado o menor valor da soma do quadrado do resíduo e, avaliados pelo método de validação cruzada (cross-validate). Posteriormente, tais modelos foram usados no desenvolvimento de mapas de isolinhas (krigagem) com auxílio do programa Surfer 9.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise descritiva

A área de cana crua apresentou maior ($p \leq 0,05$) emissão de CO₂ de 2,01 μmol m⁻² s⁻¹ comparada à de cana queimada com 1,65 μmol m⁻² s⁻¹ (Tabela 1), possivelmente devido à maior quantidade de palhada sobre o solo na área de cana crua (TAVARES et al., 2015; 2016).

A densidade do solo foi maior ($p \leq 0,05$) na área de cana crua com 1,31 kg dm⁻³ comparado a 1,20 kg dm⁻³ na área com queima (Tabela 1). Na área de cana crua, a maior densidade está relacionada ao maior tempo de tráfego de maquinário na área, característico desse sistema, porém esses valores não configuram impedimento físico ao desenvolvimento da planta (VIANA et al., 2011).

Os valores de macroporosidade do solo comprovam o não impedimento físico ao desenvolvimento das plantas na área de cana crua, sendo 0,31 m³ m⁻³ para cana crua, enquanto que para cana queimada de 0,19 m³ m⁻³ (Tabela 1). Sistemas de conservação do solo tendem a apresentar valores de macroporosidade variando de 0,14-0,19 m³ m⁻³

para integração lavoura pecuária floresta (SILVA et al., 2016), de 0,16 m³ m⁻³ para pastagem (SOARES et al., 2015) e de 0,27 m³ m⁻³ para mata nativa (ROSSETTI; CENTURION, 2015), cujos limites de variação se deve às condições edafoclimáticas diversas.

A maior macroporosidade do solo ($p \leq 0,05$) na área de cana crua comparada à de queimada, indica melhores condições físicas do sistema de cana crua na movimentação e liberação de CO₂ do solo, já que a

principal função dos macroporos é promover maior movimentação de água e gases no solo, o que de acordo com a Lei de Fick, a macroporosidade em comparação à microporosidade, condiciona caminhos mais retilíneos no solo, proporcionando maior aeração de gases (RIBEIRO et al., 2007). Nesse caso, é possível que na área de cana crua, a maior macroporosidade do solo tenha influenciado a maior emissão de CO₂ quando comparada com a área de cana queimada.

Tabela 1 - Estatística descritiva e análise geoestatística da emissão de CO₂ (μmol m⁻² s⁻¹), densidade do solo (Mg m⁻³), macro (m³ m⁻³) e microporosidade (m³ m⁻³) em sistemas de manejo de cana-de-açúcar.

Parâmetros	Cana Queimada				Cana Crua			
	CO ₂	Ds	Macro	Micro	CO ₂	Ds	Macro	Micro
Estatística Descritiva								
Média	1,65 b	1,20 b	0,19 b	0,34 a	2,01 a	1,31a	0,31 a	0,33 a
DP	0,46	0,13	0,02	0,04	0,73	0,14	0,03	0,04
Assimetria	-0,18	0,23	0,02	-3,15	1,46	0,20	1,17	-1,47
Curtose	-0,51	-0,31	-0,98	1,88	1,44	-1,14	1,41	1,58
CV(%)	29,65	10,92	12,67	17,86	24,43	10,88	15,87	14,47
Análise Geoestatística								
Modelo	Exp.	Esf.	Exp.	Exp.	Exp.	Gaus.	Exp.	Exp.
C ₀	0,03	0,001	1,00	0,08	0,28	0,01	0,01	0,01
C ₀ +C ₁	0,24	0,009	4,26	7,16	1,74	0,02	10,02	10,02
a (m)	11,50	27,90	19,80	32,00	23,10	25,50	21,20	18,30
C ₀ /C ₀ +C ₁	12	11	23	1,1	16	50	0,09	0,09

CO₂ = Emissão de CO₂ do solo (μmol m⁻² s⁻¹); Ds = densidade do solo (kg dm⁻³); Macro = macroporosidade (m³ m⁻³); Micro = microporosidade (m³ m⁻³); DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação. Atributo com mesma letra na coluna não difere estatisticamente segundo teste a 5% de probabilidade. C₀ = efeito pepita; C₀+C₁ = patamar; a = alcance; C₀/C₀+C₁ = relação efeito pepita/patamar; r² = coeficiente de determinação; SQR = soma do quadrado do resíduo; Exp. = exponencial; Esf. = esférico; Gaus. = gaussiano.

A relação da emissão de CO₂ do solo com a macroporosidade pode ser observada nas Figuras 1C e 1D, sendo que os maiores picos de emissão de CO₂ ocorreram nos pontos de amostragem de maior macroporosidade do solo e o inverso ocorreu para a área de cana queimada. A relação direta do CO₂ com a macroporosidade, também foi encontrada em estudo de Brito et al. (2009) sobre emissão de CO₂ do solo em cana-de-açúcar, o que segundo os autores, a macroporosidade viabiliza o fluxo de CO₂ no solo.

Em relação à microporosidade do solo, a área de cana crua apresentou menores valores ($p \leq 0,05$) comparada à de cana queimada com 0,33 e 0,34 m³ m⁻³ respectivamente, isto porque a microporosidade possui

comportamento complementar e antagônico à macroporosidade (VIANA et al., 2011).

A relação entre emissão de CO₂ e densidade (Figuras 1A – 1B) e microporosidade (Figuras 1E - 1F), nos sistemas de manejo de cana, não apresentaram tendências similares como o que foi verificado para macroporosidade. Observa-se que na área de cana queimada, a quantidade de microporos é superior à de macroporos, enquanto que na área de cana crua, essa diferença é pequena, demonstrando o potencial do sistema de cana crua na retenção e infiltração/circulação de água e gases.

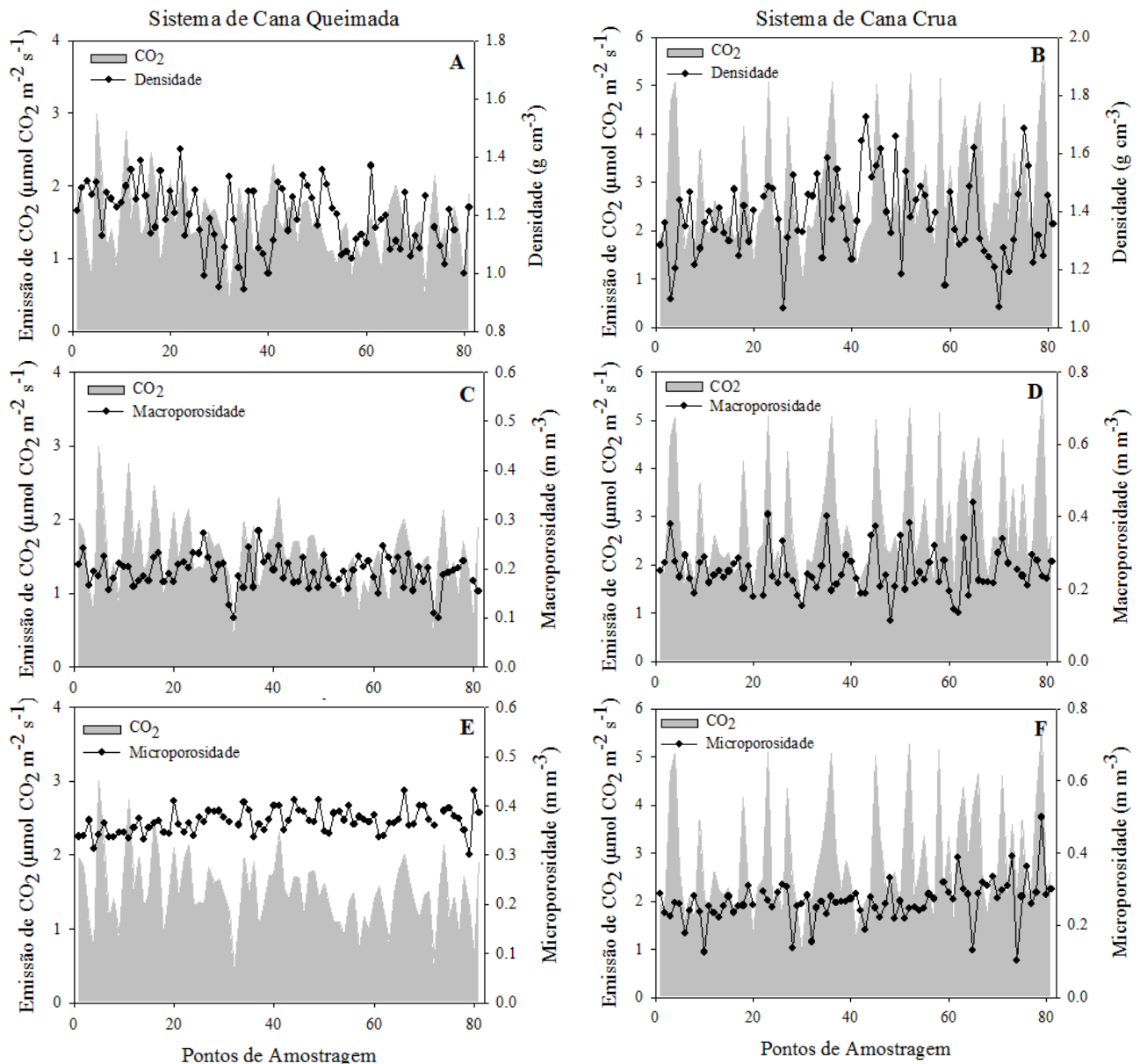


Figura 1 - Emissão de CO₂ e densidade do solo (A-B), macroporosidade (C-D) e microporosidade (E-F) do solo em dois sistemas de manejo de cana-de-açúcar.

3.2 Análise geoestatística

Observa-se que os atributos avaliados apresentaram simetria aos dados com valores dos coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero (Tabela 1). O coeficiente de variação para os resultados dos atributos físicos variou, segundo classificação de Warrick e Nielsen (1980), de baixo ($CV \leq 12\%$) a médio ($12\% > CV \leq 20\%$), enquanto que a emissão de CO₂ apresentou CV de 24-29%, considerado alto ($CV > 20\%$), o que pode ser indicio da alta variabilidade espacial (PANOSSO et al., 2008). Outros estudos também encontraram alto CV para emissão de CO₂ do solo (PANOSSO et al., 2008).

Para a análise de dependência espacial, foram considerados apenas os variogramas isotrópicos, e ambas as áreas avaliadas no período do estudo (úmido/2012) apresentaram dependência espacial dos atributos avaliados (Tabela 1), sendo o modelo exponencial o que

mais se ajustou aos dados de todos os atributos avaliados (com exceção da densidade do solo), o que de acordo com Isaaks e Srivastava (1989), o modelo exponencial é o que melhor se ajustam a fenômenos erráticos na pequena escala. Da mesma forma, variogramas com modelos exponenciais para porosidade do solo foram encontrados em estudos de Santos et al. (2006) e Parfitt et al. (2009) e, para emissão de CO₂ em estudos de Moitinho et al. (2013) e Panosso et al. (2009).

A partir dos variogramas experimentais, foram obtidos mapas de distribuição espacial dos atributos por meio do processo denominado krigagem (Figura 2), onde foi possível observar similaridade nos mapas de CO₂ e macroporosidade do solo em algumas regiões do mapa, principalmente na área de cana crua, reforçando a relação significativa entre os dois atributos.

O alcance (a) da dependência espacial da emissão de CO₂ na área de cana crua foi de 23,10 m e, na cana

queimada de 11,50 m (Tabela 1), sendo que maior alcance indica maior precisão do atributo na interpolação de pontos por meio da Krigagem (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989). Em estudo de Panosso et al. (2008), foi encontrado alcance da emissão de CO₂ de 32,7 m em talhão de cana crua em uma malha amostral de 50 x 90 m, e em La Scala et al. (2009) detectaram alcance variando de 20-50 m em 1,0 ha de área com diferentes preparos.

Em adição, os alcances da variabilidade espacial dos atributos CO₂ e macroporosidade apresentaram limites próximos tanto na área de cana crua com 23,10 m e 21,20 m, quanto na área de queimada com 11,50 m e 19,80 m (Tabela 1), o que pode justificar alguma semelhança nos padrões de dependência espacial entre os dois atributos. Trabalhos de pesquisa que tenham

utilizado a geoestatística para explicar as relações existentes entre CO₂ e macroporosidade do solo são raros, porém, a interação significativa entre os dois fatores é conhecida e foi descrita em Brito et al. (2009) e Silva-Olaya (2013).

O grau de dependência espacial, representado pela relação C_0/C_0+C_1 (efeito pepita/patamar) foi forte (<25%), segundo classificação de Cambardella et al. (1994), com exceção da densidade do solo na área de cana crua que apresentou moderado grau de dependência espacial (Tabela 1). La Scala et al. (2009) encontraram grau moderado de dependência espacial para emissão de CO₂, enquanto que Panosso et al. (2009) e Teixeira et al. (2011) detectaram forte grau de dependência espacial em estudo sobre CO₂ em solos de cana crua e queimada.

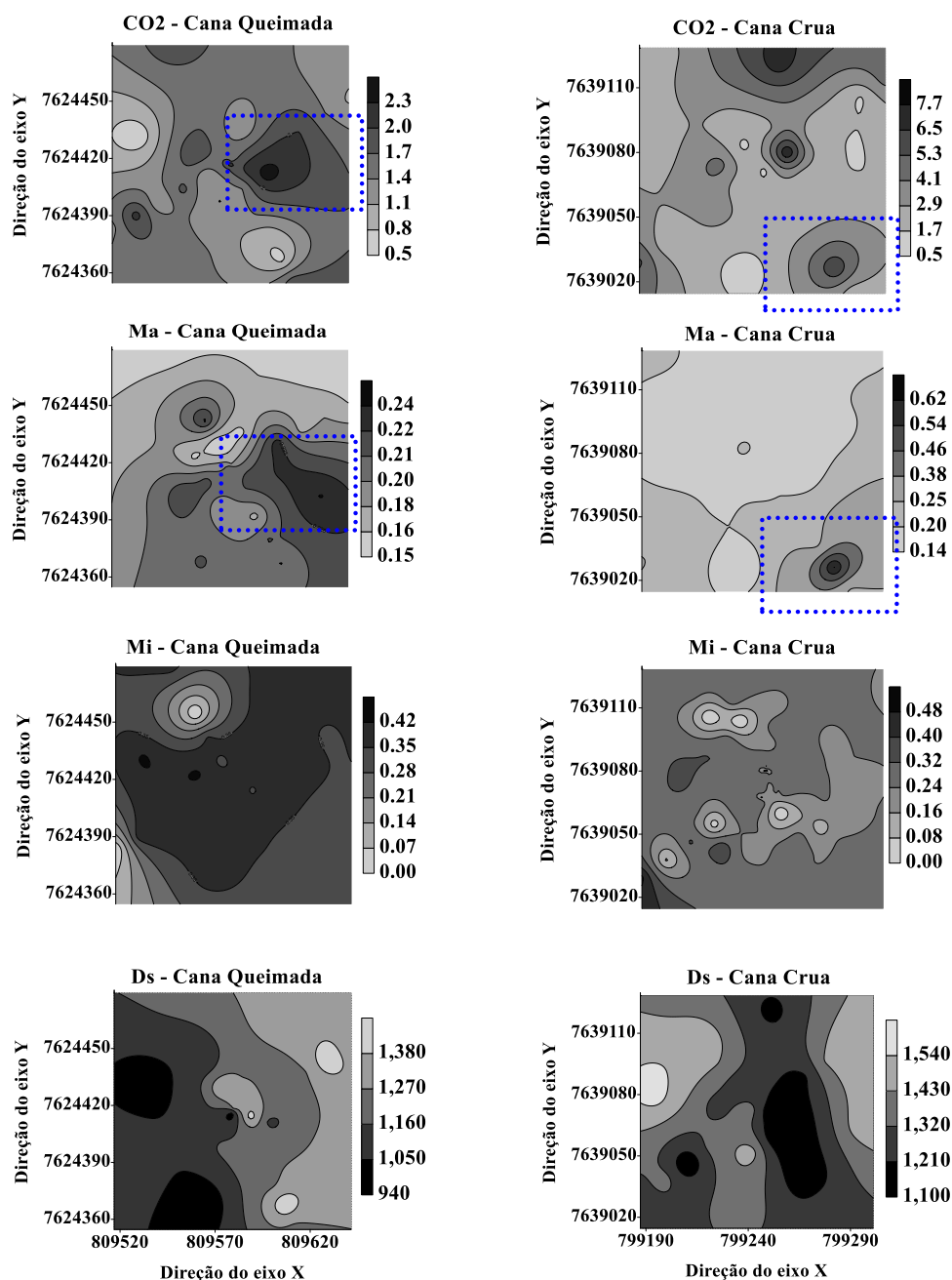


Figura 2 - Mapas de distribuição espacial da emissão de CO₂ (CO₂ - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), densidade do solo (Ds - kg cm^{-3}), macroporosidade (Ma - $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e microporosidade (Mi - $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em dois sistemas de manejo de cana-de-açúcar.

4 CONCLUSÕES

- O atributo macroporosidade do solo influenciou a emissão de CO₂ principalmente na área de cana crua com picos de emissão em áreas de maior macroporosidade.
- A análise geoestatística indicou padrões de variabilidade espacial semelhantes para a emissão de CO₂ e macroporosidade do solo, com modelos *exponenciais* ajustados aos variogramas experimentais de ambos os atributos e com valores de alcance próximos para cada área avaliada.

5 REFERÊNCIAS

- BRITO, L. D. F.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA JÚNIOR, N. Soil CO₂ emission of sugarcane fields as affected by topography. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 1, p. 77-83, 2009.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; NOVAK, J. M.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 2011. 212 p.
- GOLDEN SOFTWARE INC. **Surfer for windows**: release 7.0, contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers user's guide. New York, 1999. 619 p.
- IAMAGUTI, J. L.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA JUNIOR, N. Preparo do solo e emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área canaveira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 2, p. 497-504, 2015.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.
- LA SCALA, N.; LOPES, A.; SPOKAS, K.; ARCHER, D. W.; REICOSKY, D. First-order decay models to describe soil C-CO₂ loss after rotary tillage. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 3, p. 650-657, 2009.
- MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA, N. Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1720-1728, 2013.
- MOITINHO, M. R.; BICALHO, E. S.; TEIXEIRA, D. B.; PADOVAN, M. P.; LA SCALA JR, N. Efeito da palha sobre a emissão de CO₂ do solo em áreas de cana-de-açúcar. **Cadernos de Agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 1-12, 2016.
- PANOSSO, A. R.; MARQUES, J.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 2, p. 275-282, 2009.
- PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES, J.; LA SCALA, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 227-236, 2008.
- PARFITT, J. M. B.; TIMM, L. C.; PAULETTO, E. A.; SOUSA, R. O. D.; CASTILHOS, D. D.; ÁVILA, C. L. D.; RECKZIEGEL, N. L. Spatial variability of the chemical, physical and biological properties in lowland cultivated with irrigated rice. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 819-830, 2009.
- RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.
- ROBERTSON, G.P. **GS+**: geostatistics for the environmental sciences (version 5.1 for windows). Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152 p.
- ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Estoque de carbono e atributos físicos de um latossolo em cronosequência sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 3, p. 252-258, 2015.
- SANTOS, M. L.; DE PASSOS, M.; RAPASSI, R. M. A.; MURAISHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, p. 3, p. 313-321, 2006.
- SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. **SAS**: System for Elementary Statistical Analysis. 2. ed. Cary: SAS Institute, 1997. 905 p.
- SILVA, A. R.; SALES, A.; VELOSO, C. A. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 37, n. 1, p. 96-104, 2016.
- SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, C. E. P.; LA SCALA, N.; DIAS, C. T. S.; CERRI, C. C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in

mechanically harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2013.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; SOUZA, Z. M.; BRITO, W. B. M.; FRANCISCON, U.; CASTIONI, G. A. F. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob pastagem em Manicoré, AM. **Revista de Ciência Agrárias**, Belém, v. 58, n. 4, p. 434-441, 2015.

TAVARES, R. L. M.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA, N.; CASTIONI, G. A. F.; SOUZA, G. S.; TORRES, J. L. R. Spatial and temporal variability of soil CO₂ flux in sugarcane green harvest systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, n. e0150252, 2016.

TAVARES, R. L. M.; VIEIRA, C. V. SOUZA, Z. M.; LA SCALA, N. Emission of CO₂ and soil microbial activity in sugarcane management systems. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 10, n. 9, p. 975-982, 2015.

TEIXEIRA, L. G.; FUKUDA, A.; PANOSSO, A. R.; LOPES, A.; LA SCALA, N. Soil CO₂ emission as related to incorporation of sugarcane crop residues and aggregate breaking after rotary tiller. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 1075-1084, 2011.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. D.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 2105-2114, 2011.

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, 1980. p. 319-344.