



## Variabilidade espacial da porosidade do solo versus produtividade de milho em um Latossolo Vermelho sob semeadura cultivo mínimo<sup>(1)</sup>.

**Lucas de Souza Ferreira<sup>(2)</sup>; Fabricio Tomaz Ramos<sup>(3)</sup>; João Carlos de Souza Maia<sup>(4)</sup>; Rivanildo Dallacort<sup>(5)</sup> Eduardo André Ferreira<sup>(3)</sup>; André Vinicius Serra Casarotto<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup> Trabalho custeado pela Fundação de Apoio à Cultura da Soja (FACS) em parceria com a Associação dos Produtores de Soja e Milho do Estado de Mato Grosso (APROSOJA);

<sup>(2)</sup> Pós-graduando em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola – UNEMAT, Tangará da Serra, lucas-jna@hotmail.com;

<sup>(3)</sup> Pós-graduandos em Agricultura Tropical - UFMT, Cuiabá-MT, fabricio.tomaz@hotmail.com, eduardoagritrop@gmail.com, andre\_casarotto@hotmail.com;

<sup>(4)</sup> Professor, pesquisador, UFMT, Cuiabá-MT, jotace@terra.com.br;

<sup>(5)</sup> Professor, pesquisador, UNEMAT, Cuiabá-MT, rivanildo@unemat.br.

**RESUMO:** A porosidade do solo é fator determinante para o crescimento e desenvolvimentos dos cultivos. Assim, o estudo da variabilidade espacial e sua correlação com a produtividade das culturas pode ser uma alternativa para visualizar áreas que influenciam no desenvolvimento das culturas. Deste modo, objetivou-se no presente trabalho avaliar o grau de correlação entre a variabilidade espacial da macroporosidade, microporosidade e da porosidade total de um Latossolo Vermelho Distrófico típico muito argiloso, manejado sob semeadura direta com a produtividade de grãos de milho. O estudo foi realizado na Fazenda Espigão localizada no município de Diamantino do Estado de Mato Grosso nas longitude de 56°58'39" W e altitude de 539 metros. Foram coletadas 117 amostras deformadas de solo em uma malha irregular estratificada, na camada de 0-0,20 m, os dados foram analisados pela estatística descritiva e análise geoestatística. Verificou-se que a porosidade do solo correlaciona positivamente e negativamente com a produtividade de grãos de milho. Os dados ajustaram ao modelo esférico com dependência espacial forte a moderado e alcance entre 32,900 a 366.00 m. Fica evidente que o estudo da variabilidade espacial pode ser uma alternativa para o manejo em sítios específicos.

**Termos de indexação:** Geostatística, Zea Mays L., densidade do solo, compactação do solo.

### INTRODUÇÃO

A porosidade do solo é um dos fatores determinantes para o bom desenvolvimento das plantas, pois influencia no fluxo de água, aeração e calor do solo. Estes por sua vez interagem e regulam o crescimento das raízes com reflexo na produtividade dos cultivos (Collares et al., 2006).

Em situação prática a porosidade do solo sofre influencia negativa ou positiva do manejo do solo, a qual é afetada pela densidade do solo. Segundo

Tormena et al. (1998) em sistemas conservacionista, como o plantio direto e cultivo mínimo a densidade do solo é reflexo do trafego de máquinas agrícola com a umidade do solo inadequado provocado pela pressão dos pneus afeta negativa a porosidade do solo.

Assim, o estudo da variabilidade da porosidade do solo e sua correlação com a produção das culturas, pode ser uma alternativa para planejamento agrícola sustentável, ou seja, realizar ações de manejo em sítios específicos.

Com isso, objetivou-se no presente trabalho avaliar o grau de correlação entre a variabilidade espacial da macroporosidade, microporosidade e da porosidade total de um Latossolo Vermelho Distrófico típico muito argiloso, manejado sob semeadura direta com a produtividade de grãos de milho.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Local de estudo

Este estudo foi realizado na Fazenda Espigão localizada no município de Diamantino no Estado de Mato Grosso, Brasil, latitude de 14°07'40" S, longitude de 56°58'39" W e altitude de 539 metros. O clima da região é Aw pela classificação de Köppen. O regime de chuvas é bem definido, com um período seco, de maio a setembro, e com um período chuvoso, de outubro a abril. A precipitação média anual é de 1816,9 mm ano<sup>-1</sup>. A temperatura média anual máxima é de 25,5 °C e mínima de 16,2 °C. O solo da unidade experimental foi classificado como LATOSSOLO VERMLHO Distrófico típico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo plano (Santos, 2013).

O histórico da unidade experimental é o seguinte: no ano de 1987 a floresta foi desmatada, plantou-se arroz na safra 1987/88. Deste período até a safra 1999/2000 cultivou-se soja e milho em sucessão,



sendo a adubação realizada na linha de semeadura. Da safra de 2000/01 até a de 2003/04 cultivou-se algodão. De 2004/05 até a de 2013/14 cultivou-se soja e milho em sucessão, sem revolver o solo e o calcário e os fertilizantes passaram a serem aplicados a lanço. No presente trabalho, na safra 2013/14, avaliou-se a cultura da milho (*Zeia Mays* L.), cultivar PENTA TL, demarcando uma unidade experimental de aproximadamente 12 ha (300 por 405 m) de um talhão de 56 ha, cultivada em espaçamento de 0,45 m entre linhas e média de 3 plantas por metro linear. A semeadura foi realizada no dia 10/02/2014 e a colheita no dia 04/07/2014.

### Procedimentos de amostragem

No presente trabalho, amostras de solo foram coletadas na camada de manejo, isto é, de 0 a 0,20 m, sendo a média dos valores da camada intermediária, isto é, de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. O esquema de amostragem foi do tipo malha irregular, devido os desvios das curvas de nível, recentemente restaurada, orientada na entrelinha da cultura, totalizando 117 pontos de coleta por camada. Estes pontos foram georreferenciados com erro máximo de 5 mm, usando um aparelho de posicionamento global (marca Topcon Hiper®, modelo Pro), sendo as coordenadas exportadas no sistema UTM.

As amostras de solo com estrutura indeformada foram na entrelinha de semeadura. Amostras foram coletadas utilizando um trado tipo “caçamba caneco planto” para cavar e aplainar a superfície do solo e, então, inserir o trado de amostras indeformadas tipo “kopec”. No laboratório física do solo da Faculdade Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso (FAMEV/UFMT) essas amostras foram saturadas com água destilada e submetidas ao potencial matricial de 6kPa, utilizando a caixa de areia (Modelo 08.01, Eijkelkamp Agrisearch Equipment).

Os valores de microporosidade do solo foram determinados pela diferença entre a massa úmida da amostra à tensão de 60 cm coluna d'água e a massa seca em estufa à 105 °C por 48 h, multiplicando pelo valor respectivo da densidade do solo. Depois, determinou-se os valores de porosidade total do solo com base nos respectivos valores de densidade de partícula de cada amostra. Por fim, determinou-se a macroporosidade do solo pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Donagema, 2011).

A produtividade de grãos de milho ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) foi estimada colhendo 2 m lineares de plantas em cada ponto amostral com a umidade corrigida para 14 %.

### Análise estatística

Todos os dados foram submetidos à análise estatística e teste de normalidade ao nível de 5% de erro. Em seguida, os dados de macroporosidade, microporosidade e porosidade total foram correlacionados com a produtividade de grãos de milho pelo teste de Pearson (r) ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste t de Student. Posteriormente, determinou-se a variabilidade espacial da porosidade do solo e da produtividade de grãos de milho, utilizando-se o software Gamma Design GS<sup>TM</sup>: Geostatistics for the Environmental Sciences Versão 10.0. (Yamamoto & Landim, 2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **Tabela 1** verifica-se que os dados apresentaram distribuição assimétrica a esquerda ( $C_s < 0$ ) e a direita ( $C_s > 0$ ) e curtose platicúrtica e leptocúrtica ( $C_k > 0$ ). Nota-se que mesmo os dados com distribuição assimétrica foram normais pelo teste de normalidade Shapiro-Wilk (W) e Lilliefors (D) ao nível de 5% ( $P > 0,05$ ) de erro com coeficiente de variação (CV) menor que 35%, o que segundo Warrick & Nielsen (1980) indica que os dados apresentam baixa heterogeneidade.

Os valores médio para macroporosidade foi de 0,095; 0,396 para microporosidade e 0,499 para porosidade (**Tabela 1**). Valores ideais para macroporosidade e microporosidade são, respectivamente, de 0,17  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  e de 0,33  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  do volume total do solo. Já valores de macroporosidade menores do que 0,10  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  podem afetar o desenvolvimento das raízes, a ponto de comprometer a produtividade vegetal (Kiehl, 1979). De acordo com essa classificação, nota-se que os valores de macroporosidade ficaram próximo ao limite crítico para o desenvolvimento das culturas.

Na matriz de correlação apresentada na **Tabela 2**, observa-se que a PGM correlacionou positivamente com a MIP, isto é, a medida que uma aumenta a outra segue o mesmo comportamento. Tal fato pode ter ocorrido, pois os microporos são responsáveis pelo armazenamento e retenção de água no solo disponibilizando a mesma para as plantas em período de baixa umidade do solo, refletindo positivamente na produtividade das culturas, conforme Tormena et al. (2002).

Verificou também correlação inversa entre a PGM e MAP e PT, isso significa que a produção de milho tende a diminuir quando ambas aumentam. Isso provavelmente ocorreu, pois o aumento da porosidade diminui o contato sistema radicular com o solo e afetando absorção de iônica limitando a produtividade das culturas, conforme observado por Hankansson et al. (1998).



**Tabela 2.** Matriz de correlação entre a porosidade do solo e da produtividade de grãos de soja e milho.

Variáveis	PGM	MAP	MIP	PT
PGM	1,000			
MAP	-0,512*	1,000		
MIP	0,244*	-0,788*	1,000	
PT	-0,408*	0,650*	-0,222*	1,000

\* e \*\* significativo ao nível de 5% ( $0,01 < p < 0,05$ ) e 1% ( $p > 0,01$ ) de erro, respectivamente, ns não significativo ( $p \geq 0,05\%$ ), PGM – produtividade de grãos de milho, MAP – macroporosidade, MIP – Microporosidade, PT – porosidade total, AG – argila, AT – areia total e SIL – silte

Todos os dados ajustaram ao modo modelo esféricos, com mais de 75% de explicação com base nos coeficientes de determinação ( $R^2$ ). O alcance variou de 32.900 a 366.00 m para porosidade total e macroporosidade (**Tabela 3**), corroborando com Santos et al. (2012) que verificou em plantio direto que alcance de 32 m para porosidade total e 124 m para macroporosidade. Esses resultados indicam que caso o objetivo de futuros estudos essas variáveis sejam investigada a malha amostrou deve ser menos e mais adensada respectivamente.

De acordo com a classificação de Cambardella et al. (1994) os dados apresentaram forte ( $E\% < 25$ ) e moderada ( $25 < E\% < 75$ ) dependência espacial. O melhor ajuste foi testado com base na validação cruzada que mesmo apresentado baixo coeficiente de correlação ( $r^2$ ) a regressão foi altamente significativa pelo teste F (**Tabela 3**).

Na **Figura 1** são apresentados os mapas de distribuição espacial, nota-se que na região norte do mapa ocorreu menor macroporosidade e porosidade total, já os maiores valores ocorram na região sudeste. Situação contrária foi observada para produtividade de grãos de milho e microporosidade, corroborando com as correlações apresentada na **Tabela 2**.

Assim, os mapas de distribuição espacial da porosidade do solo é uma alternativa para visualizar áreas com maior e menor potencial para produtividade do milho. Com essas informações é possível realizar um planejamento agrícola com foco apenas em áreas onde a produtividade é afetada negativamente.

## CONCLUSÕES

A porosidade do solo correlacionou positivamente e negativamente com a produtividade de grãos de milho. Os dados ajustaram ao modelo esférico com dependência espacial forte a moderado e alcance entre 32,900 a 366.00 m. Fica evidente que o estudo da variabilidade espacial pode

ser uma alternativa para o manejo em sítios específicos.

## AGRADECIMENTOS

Ao Fundo de Apoio Cultura da Soja (FACs), pela concessão de bolsa de estudos ao primeiro autor. Os agradecimentos são extensivos ao Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade do Estado de Mato Grosso (FAMEV), por ceder o espaço físico para realização da pesquisa e a Fazenda Espigão pela concessão da área experimental.

## REFERÊNCIAS

- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58:1501-1511. 1994.
- COLLARES, Gilberto Loguércio; REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel and KAISER, Douglas Rodrigo. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. *Pesquisa agropecuária brasileira* 41:1663-1674, 2006.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B. et al. (Org.). *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- HAKANSSON, I.; STENBERG, M. & RYDBERG, T. Long term experiments with different depths of moldboard plough in Sweden. *Soil and Tillage Research*, 46:209-230,1998.
- KIEHL, E. J. *Manual de edafologia: relações solo-planta*. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1979. 264p.
- SANTOS, D.; SOUZA, E. G.; NÓBREGA, H. P.; BAZZI, C. L.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16:843–848, 2012.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. et al. *Sistema Brasileira de classificação do solo*. 3.ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353p.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:301-309, 1998.
- TORMENA, C. A; BARBOSA, M. C; COSTA, A. C. S. et al. Densidade, porosidade e Resistência à penetração em Latossolo cultivado solução Diferentes Sistemas de preparo do Solo. *Scientia agricola*. 59:795-801, 2002
- YAMAMOTO, J. K. & LANDIM, P. M. B. *Geoestatística: Conceitos e aplicações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215p.

**Tabela 1.** Estatística descritiva da porosidade do solo e da produtividade de grãos de milho, Fazenda Espigão em Diamantino, MT.

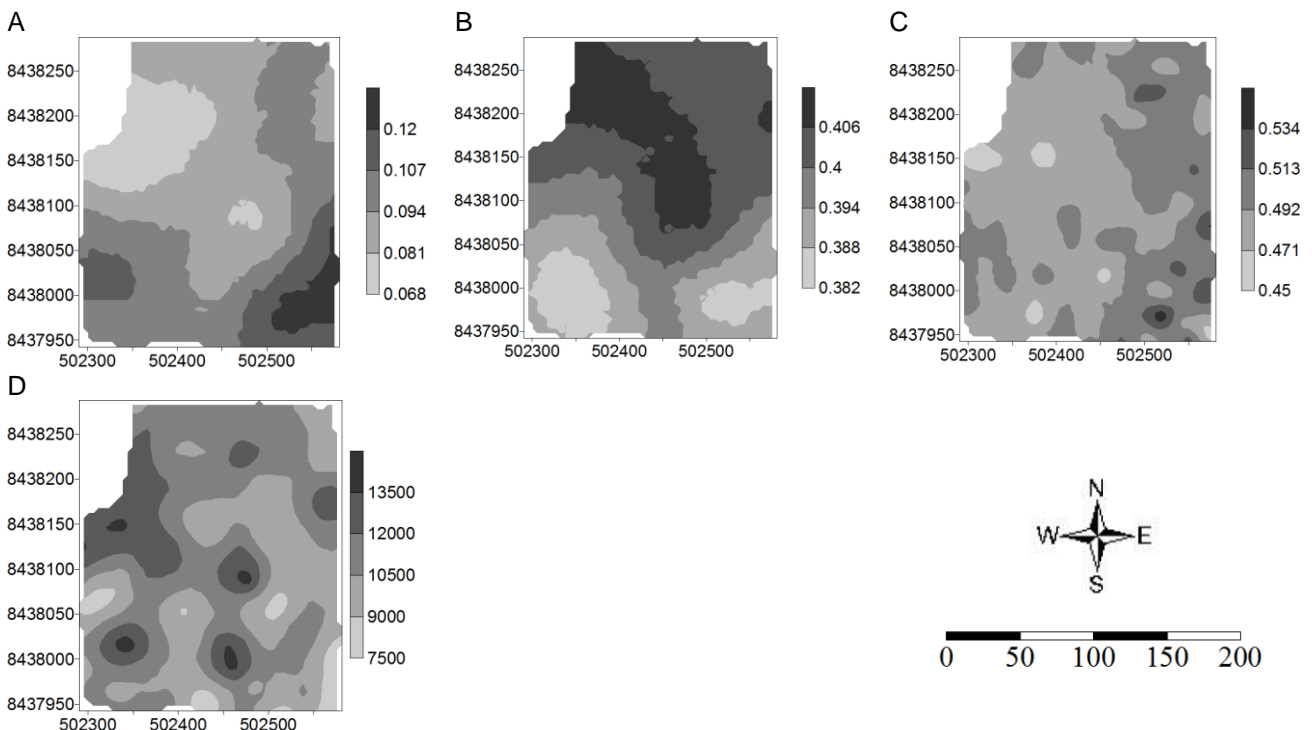
Variáveis	Máxima	Média	Mínima	DP	CV (%)	Cs	Ck	p-valor
MAP, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,181	0,095	0,046	0,023	24,463	0,62	1,12	0,150 (D)
MIP, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,423	0,396	0,352	0,013	3,399	- 0,33	- 0,15	0,078 (w)
PT, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,551	0,499	0,448	0,017	3,537	0,35	0,58	0,233 (w)
PGM, kg ha <sup>-1</sup>	15138,458	10515,046	5245,252	1820,256	17,311	0,38	-0,19	0,277 (w)

MAP – macroporosidade, MIP – Microporosidade, PT – porosidade total, PGM – produtividade de grãos de milho, DP – desvio padrão, CV (%) – coeficiente de variação, Cs - Assimetria (Cs > 0 tem-se a distribuição assimétrica à direita, se Cs < 0 a distribuição é assimétrica à esquerda; e se Cs = 0 a distribuição é simétrica), Ck - Curtose (Ck = 0 a distribuição é mesocúrtica, se Ck < 0 é platicúrtica e se Ck > 0 é leptocúrtica) e p-valor - teste de normalidade Shapiro-Wilk (W) e Lilliefors (D) ao nível de 5% (P > 0,05) de erro.

**Tabela 3.** Modelos e parâmetros estimados pelos semivariogramas experimentais e validação cruzada para porosidade do solo e produtividade de grãos de milho, Fazenda Espigão em Diamantino, MT.

Variáveis	Modelos	R <sup>2</sup>	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	A (m)	E (%)	Validação cruzada	
							r <sup>2</sup>	P Teste F
MAP, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	Esférico	0,934	0,00032	0,00065	306,000	49,231	0,258	< 0,0001
MIP, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	Esférico	0,757	0,00010	0,00021	366,600	47,619	0,248	< 0,0001
PT, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	Esférico	0,756	0,00000	0,00028	32,900	0,000	0,143	< 0,0001
PGM, kg ha <sup>-1</sup>	Esférico	0,914	1000,00	222.220.000,000	62,300	0,045	0,474	< 0,0001

MAP – macroporosidade, MIP – Microporosidade, PT – porosidade total, PGM – produtividade de grãos de milho, R<sup>2</sup> - coeficiente de determinação, C<sub>0</sub> – efeito pepita, C<sub>0</sub>+C – patamar, A – Alcance e E (%) – coeficiente de efeito pepita (E% < 25; 25 < E% < 75 e E% > 75 indica forte, moderada e baixa dependência espacial, respectivamente), r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação da validação cruzada e P Teste F - probabilidade de Fcalculado > Ftabelado ao nível de 5% de erro pelo teste F.



**Figura 1.** Mapa de variabilidade espacial da macroporsidade (A), microporosidade (B), porosidade total (C) e produtividade de grãos de milho (D), Fazenda Espigão em Diamantino, MT.