

Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijão de inverno e atributos físicos do solo sob sistema plantio direto na região de Selvíria-MS.

Maria Cecília Cavallini da Silva⁽¹⁾; Marcelo Andreotti⁽²⁾; Morel de Passos e Carvalho⁽²⁾; Nídia Raquel Costa⁽¹⁾; Cristiano Magalhães Pariz⁽³⁾; Flávia Aparecida de Carvalho Mariano Nasser⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Doutorandos em Agronomia (Sistemas de Produção) da FEIS/Unesp, Ilha Solteira, SP; cecicavallini@gmail.com; nidiarcosta@gmail.com; flaviamariano1@hotmail.com ⁽²⁾ Professores do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da FE/Unesp, Câmpus de Ilha Solteira, SP. dreotti@agr.feis.unesp.br (Bolsista PQ 2 –CNPq); morel@agr.feis.unesp.br; ⁽³⁾ Doutorando em Zootecnia da FMVZ/UNESP, Botucatu, SP. cmpariz@gmail.com

RESUMO: Para a cultura do feijoeiro é muito importante conhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo que influenciam na sua produtividade. O trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial da produtividade do feijão de inverno e dos atributos RP, UG e UV por meio da geoestatística num sistema plantio direto. O trabalho foi desenvolvido na Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FE/UNESP), localizada no município de Selvíria (MS). Foi realizada a análise estatística descritiva e geoestatística para os atributos, gerando semivariogramas e mapas de krigagem e cokrigagem. A produtividade do feijão apresentou coeficiente de variação de 22,2% e moderada dependência espacial, sendo possível gerar mapas de krigagem e cokrigagem com o UV1. Os atributos físicos nas camadas de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m apresentaram coeficiente de variação entre 6,2% e 57,4% e dependência espacial entre moderada e alta. Foi verificada correlação linear somente para produtividade com UG2. Os valores da produtividade do feijão e dos atributos resistência à penetração, UG e UV apresentaram dependência espacial. Do ponto de vista agrônomo, o UV1 foi o melhor indicador da qualidade física do solo, com correlação positiva no aumento da produtividade de feijão.

Termos de indexação: *Phaseolus vulgaris*; geoestatística; umidade gravimétrica.

INTRODUÇÃO

O feijão constitui uma fonte barata de proteína para a população menos favorecida do Brasil, além de ser uma das mais relevantes explorações agrícolas. O cultivo de feijão de 3ª época (inverno) na região sudeste e centro-oeste ocorre no período de maio a junho (Conab, 2008). O total de área cultivada com feijão de terceira época na safra 2011/12 ficou em 626,1 mil hectares. A produtividade média desta safra de feijão foi de 989 kg ha⁻¹ (Conab, 2012).

O feijoeiro não apresenta sensibilidade ao fotoperíodo, sendo assim, pode ser cultivado em qualquer época do ano, desde que não aconteçam limitações de água e/ou temperatura (Maeda & Mendonça, 1990).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da produtividade do feijão de inverno e dos atributos RP, UG e UV por meio da geoestatística num sistema plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – Setor de Produção Vegetal, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FE/UNESP), localizada no município de Selvíria (MS), na latitudes de 20°18'S e a longitude de 52°39'W. Sua precipitação média anual é de 1300 mm, enquanto que a temperatura média é de 23,7°C. O tipo climático é Aw, segundo Koeppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo no qual a malha experimental foi instalada, classificado segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), é um Latossolo Vermelho distroférrico típico argiloso.

Caracterização dos atributos avaliados

Foram definidas as direções **x** e **y** do sistema de coordenadas cartesianas, num lançante da cultura de feijão de inverno, estabelecido entre dois terraços agrícolas, em sucessão ao capim-Marandu, após dessecação em maio de 2007, sendo que a malha ficou constituída de 124 pontos. O feijão foi semeado em 30/05/2007 sob SPD, utilizando-se a cv. IAC Carioca, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e população de 15 plantas por metro.

Como adubação de semeadura, com base na análise inicial do solo, utilizou-se 250 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16. No dia 04/07/2007 foi realizada a adubação de cobertura com 70 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, sendo em seguida aplicada uma

lâmina d'água de 14 mm para minimizar as perdas de NH_3 por volatilização.

Cabe destacar que não foi necessário aplicar herbicidas, fungicidas ou inseticidas como tratamentos culturais do feijoeiro de inverno. Os atributos pesquisados foram do solo e da planta, todos individualmente coletados no entorno de cada ponto amostral (delimitado por estacas) da malha experimental. Os atributos do solo foram calculados em função de amostras coletadas no entorno da estaca que determinaram o ponto amostral no campo. Tais amostras de solo foram originadas de monólitos com estrutura indeformada para a UV, ao passo que para a UG foram com estrutura deformada, com auxílio de um trado de caneca. A umidade gravimétrica do solo (UG) foi determinada com base na massa (EMBRAPA, 1997), e a UV foi determinada pelo seguinte cálculo (KIEHL, 1979): $UV = UG \times DS$. Os resultados da RP foram obtidos com o penetrômetro de impactos (STOLF, 1991), calculados segundo a expressão contida em Souza et al. (2001)

Ao final do ciclo (13/09/2007), foram coletadas todas as plantas no entorno de cada ponto amostral para determinação da produtividade de grãos (PRO), que foi corrigida para 13% de umidade. Tais amostras foram originadas da coleta de todas as plantas, quando considerado que todo ponto amostral continha quatro linhas de semeadura, as quais numa largura de 1,00 m. Uma vez que foi considerada a mesma distância para o comprimento, a área de coleta de plantas de cada ponto amostral foi de 1,35 m².

Análise estatística e geoestatística

A análise estatística foi efetuada com o SAS (Schlotzhaver & Littell, 1997) pela análise descritiva dos atributos. Foi realizada a correlação entre os atributos pesquisados. Objetivou-se detectar a existência de correlações significativas entre a produtividade de grãos de feijão com os atributos físicos do solo. Seguidamente, efetuaram-se regressões entre os atributos.

A análise geoestatística foi feita com o programa Gamma Design Software 7.0 (GS+, 2004; Dalchiavon & Carvalho, 2012). Para cada atributo foi analisada a dependência espacial, pelo cálculo do semivariograma isotrópico. O avaliador da dependência espacial (ADE) foi classificado como: a) fraco ($ADE \leq 0,25$), b) moderado ($0,25 < ADE \leq 0,75$), e c) forte ($ADE < 0,75$), proposto por Cambardella et al. (1994), e depois efetuaram-se krigagens e cokrigagens ordinárias para os atributos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **tabela 1** está apresentada a análise descritiva dos atributos pesquisados. A produtividade (PRO) apresentou alta variabilidade (22,2%), assemelhando-se com a obtida por Dalchiavon et al. (2011), cujo o CV foi de 20,3%.

Em relação à resistência à penetração (RP), umidade gravimétrica (UG) e umidade volumétrica (UV), os coeficientes de variação apresentaram-se entre baixo e muito alto. Constituído variabilidade muito alta para o RP1 (57,4%) e alta para o RP2 (23,9%). A UG foi baixa nas duas profundidades UG1 (8,4%) e UG2 (6,2%). Todavia, a UV apresentou variabilidade distinta nas camadas, uma vez que a variabilidade foi média para UV1 (10,2%) e baixa para UV2 (7,6%).

De acordo com o **tabela 1**, a PRO (3293 kg ha⁻¹) foi superior à PRO de 3044 kg ha⁻¹ obtido por Dalchiavon et al. (2011) e a PRO de 2201 kg ha⁻¹ constatada por Montanari et al. (2010). Além disso, a média de produtividade de grãos atingida no estudo foi superior à média nacional de produtividade de grãos de feijão de inverno (989 kg ha⁻¹) (CONAB, 2012).

De acordo com os resultados contidos na **tabela 1**, para os valores de UG1 (0,205 kg kg⁻¹) e UG2 (0,209 kg kg⁻¹), de RP1 (3,210 MPa) e RP2 (4,887 MPa) podem ser considerados altos, o que representa restrições ao desenvolvimento radicular da maioria das culturas agrícolas (no caso da RP), pois valores maiores que 2 MPa já comprometem o crescimento normal das raízes (ARSHAD et al., 1996). Os valores de RP elevados ao longo do tempo e principalmente em profundidade, são efeitos da compactação do solo decorrentes do uso de maquinário em todas as etapas da produção agrícola (Dalchiavon et al., 2012).

As correlações entre a PRO e os atributos físicos do solo mostraram significância para o par PRO x UG2 ($r = 0,215^*$).

Na **tabela 2** estão apresentados os parâmetros do semivariograma cruzado, ajustado entre a produtividade do feijão e d UV1 de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS). Na **figura 1** estão contidos os semivariogramas cruzados (a) e os mapas de cokrigagens (b) entre a PRO versus UV1 do solo, ficando evidente que: $PRO = f(UV1)$ apresentou dependência espacial. O coeficiente de determinação espacial (r^2) para $PRO = f(UV1)$ foi de 0,596 (**Tabela 2**). E o coeficiente de correlação (r) foi de 0,382, O coeficiente angular (b) da validação cruzada foi de 0,514.



A cokrigagem $PRO=f(UV1)$ apresentou ajuste semivariográfico do tipo gaussiano direto (**Tabela 2, Figura 1a,b**), com alcance da dependência espacial de 28,6 m e ADE alto (99,9%). Logo, nas regiões em que a UV1 apresentar valores elevados (0,287 a 0,318 $m^3 m^{-3}$), a PRO estará compreendida entre 3291 a 4211 $kg ha^{-1}$. Entretanto, naquelas regiões onde a UV1 estiver entre 0,246 a 0,277 $m^3 m^{-3}$, a PRO estará entre 2064 a 2984 $kg ha^{-1}$. Como a área foi irrigada isto pode fazer com que a variabilidade seja diminuída, e assim, atender plenamente a demanda das plantas, como verificado no presente trabalho.

CONCLUSÕES

Nas cokrigagens, a produtividade de feijão de inverno no cerrado apresentou melhor correlação direta com a UV na camada de 0 a 0,10 m, demonstrando que mesmo em solo compactado, o histórico de SPD consolidado e cultivo irrigado, a disponibilidade de água foi determinante sobre a produtividade de grãos de feijão.

REFERÊNCIAS

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B., GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., ed. *Methods for assessing soil quality*. Madison, Soil Science Society America, 49:123-141, 1996.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soil. *Soil Science Society of America Journal*, 58:1501-1511, 1994.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2008/2009: Primeiro levantamento: outubro/2008. Brasília - DF. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2012.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2012/2013: Segundo levantamento: novembro/2012. Brasília - DF. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_11_08_09_10_48_boletim_portugues_novembro_2012.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2013.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. O.; FREDDI, O. S.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de semeadura direta. *Bragantia*, 70:908-916, 2011.

DALCHIAVON, F. C. & CARVALHO, M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. *Semina: Ciências Agrárias*, 33:541-552, 2012.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema plantio direto. *Revista Ciência Agronômica*, 43:453-461, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos, 2: 306p. 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro nacional de pesquisa de solos. Manual de métodos de análise de solo, 2: 121p. 1997 (EMBRAPA CNPS. Documentos, 1).

KIEHL, E. J. Manual de edafologia: relações solo-planta. *Agronômica Ceres*. Piracicaba, 264 p., 1979.

GS+: Geostatistics for Environmental Sciences. 7. ed. Michigan, Plainwell: Gamma Design Software, 2004. 159p.

MAEDA, S.; MENDONÇA, A. L. Época de semeadura: a cultura do feijão no Mato Grosso do Sul. Dourados:Embrapa, 1990

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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1811-1822, 2010.

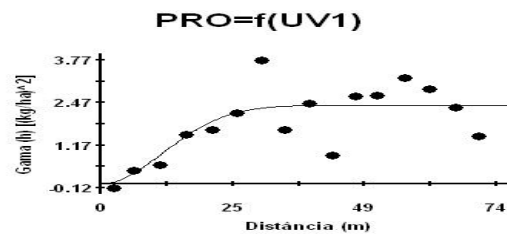
SCHLOTZHAVER, S.D. & LITTELL, R.C. SAS system for elementary statistical analysis. 2.ed. Cary: SAS, 1997. 441p.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 25: 699-707, 2001.

SOUZA, D. M. G. S.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. V. A acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. *Fertilidade do solo: a acidez do solo e sua correção*, Viçosa, 2007, p. 205-274.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 15:229-235, 1991.

(a)



(b)

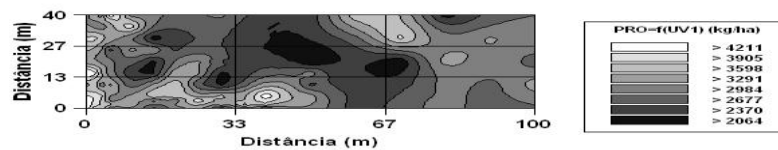


Figura 1 – Semivariograma cruzado (a) e mapa de cokrigagem (b) da produtividade do feijão de inverno em função da UV1 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

Tabela 1 – Análise descritiva inicial da produtividade do feijão de inverno e alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

Atributo ^(a)	Medidas estatísticas descritivas									
	Valor					Coeficiente			Probabilidade do teste (b)	
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Variância (%)	Curtose	Assimetria	Pr < w	DF
PRO (kg ha ⁻¹)	3293	3219	1547	5599	730,2	22,2	0,164	0,426	0,112	NO
RP1 (MPa)	3,924	3,210	1,224	10,997	2,254	57,4	-	-	-	IN
RP2 (MPa)	4,887	4,989	2,350	7,758	1,167	23,9	-0,519	0,066	0,360	NO
UG1 (kg kg ⁻¹)	0,203	0,205	0,157	0,243	0,017	8,4	-	-	-	IN
UG2 (kg kg ⁻¹)	0,209	0,209	0,173	0,247	0,013	6,2	0,827	0,114	0,077	NO
UV1 (m ³ m ⁻³)	0,293	0,293	0,205	0,378	0,030	10,2	0,651	0,024	0,419	NO
UV2 (m ³ m ⁻³)	0,308	0,307	0,244	0,378	0,023	7,6	0,502	-0,002	0,747	NO

^(a)PRO = produtividade do feijão de inverno, RP = resistência mecânica à penetração, UG = umidade gravimétrica e UV = umidade volumétrica; ^(b)DF= Distribuição de frequência, sendo NO e IN, respectivamente do tipo normal e indeterminada

Tabela 2: Parâmetros do semivariograma cruzado ajustado para produtividade do feijão de inverno e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

Atributo ^(a)	Parâmetros							Avaliador da dependência espacial	
	Modelo ^(b)	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE (d)	Classe	
γ(h) cruzado entre PRO e UV1									
PRO=f(UV1)	gau	1,00.10 ⁻³	2,39	28,6	0,596	7,17	99,9	Alta	

^(a) PRO = produtividade do feijão de inverno e UV1 = umidade volumétrica na camada de 0 a 0,10 m; ^(b) gau = gaussiano, ^(c) SQR = Soma dos quadrados dos resíduos; (d) ADE = avaliador da dependência espacial.