

# Atributos químicos de um Latossolo espacialmente relacionados com a produtividade e componentes de produção do feijão em Selvíria (MS)

*Chemical attributes at Oxisol spatially related to common bean productivity and yield features in Selvíria (MS)*

Rafael Montanari<sup>1\*</sup>, Gleice Gomes Rodrigues<sup>1</sup>, Morel de Passos e Carvalho<sup>2</sup>, Flávio Carlos Dalchiavon<sup>3</sup>, Flávia Cristina Machado<sup>4</sup>, Antonio Paz Gonzalez<sup>5</sup>

Recebido em 04/06/2012; aprovado em 27/03/2013.

## RESUMO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) destaca-se nos hábitos alimentares dos países latino-americanos por possuir grande importância na dieta nutricional no provimento de proteínas, ferro e carboidratos, sendo o Brasil o maior produtor mundial deste legume. Na safra agrícola 2006/2007, no município de Selvíria, MS, localizado no Cerrado Brasileiro, foi avaliada a variabilidade espacial do feijoeiro, em função dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho distroférico pelo sistema de cultivo mínimo, irrigado com pivô central. Objetivou-se selecionar, entre os atributos do solo pesquisado, aquele com a melhor correlação, linear e espacial, para explicar a variabilidade da produtividade do feijoeiro. Foi instalada uma malha geoestatística para a coleta de dados do solo e das plantas, com 117 pontos amostrais, em uma área de 2025 m<sup>2</sup> com declive homogêneo de 0,055 m m<sup>-1</sup>. A produtividade de grãos de feijão (PRG), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de grãos por planta (NGP) e massa de cem grãos (MCG), representaram os atributos da planta, enquanto que P, MO e pH, representaram os atributos químicos solo coletados em três profundidades

(0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m). A média produtividade de grãos do feijoeiro foi consequência de uma menor população de plantas que esse sistema proporcionou, o que pode ter sido causado pela diminuição do conteúdo de matéria orgânica.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Phaseolus vulgaris* L., geoestatística, agricultura de precisão, cultivo mínimo.

## SUMMARY

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) stands out in the eating habits of Latin Americans for having great importance in providing the nutritional diet of protein, iron and carbohydrates, with Brazil being the largest producer of the vegetable. In the season 2006/2007, in Selvíria, MS, located in the Brazilian Cerrado, we evaluated the spatial variability of bean, depending on the chemical properties of Oxisol using a minimum tillage system, irrigated with center pivot. The objective of this work was to select the soil attributes that have the best spatial and linear correlation, to explain the variability of common bean grain yield. A geostatistical grid, with 117 sampling points, was installed to collect

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso Do Sul - UEMS, Unidade Universitária de Aquidauana. Rod. Aquidauana-UEMS, km 12, CEP 79200-000, Aquidauana, MS. Email: rafamontana@uems.br. \*Autor para correspondência.

<sup>2</sup> Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista - FEIS/UNESP. Av. Brasil, 56, Bairro Centro, CEP 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil.

<sup>3</sup> Instituto Federal de Mato Grosso, Campus Campo Novo do Parecis. MT 235 Km 12, s/n, Caixa Postal 100, Zona Rural, CEP 78360000, Campo Novo do Parecis, MT, Brasil.

<sup>4</sup> Agroexata. Rua Cora Coralina, 289, CEP 79040-510, Campo Grande, MS, Brasil.

<sup>5</sup> Universidad De La Coruña, Facultad de Ciencias a Zapateira, CEP 15071, La Coruña, Espanha.

the soil and plant data in an area of 2.025 m<sup>2</sup> with homogeneous slope of 0.05 5m m<sup>-1</sup>. The common bean grain yield (GY), number of haricot per plant (NHP), number of grains per haricot (NGH), number of grains per plant (NGP) and weight of one hundred grains (DHG), represented the attributes of the plants, while P, OM, pH, were the soil chemical attributes collected at three depths (0.00-0.10 m, 0.10-0,20 m e 0.20-0.30 m). The average common bean grain yield was a consequence of lower plant population provided by that the system, this may have been caused by a decrease in organic matter content.

**KEY WORDS:** *Phaseolus vulgaris* L., geostatistics, precision agriculture, minimum tillage.

## INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se na produção mundial de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), e também por ser considerado o maior consumidor, encontrando nessa leguminosa sua principal fonte protéica vegetal (CARBONELL et al., 2003). A produtividade média do feijão na safra 2010/2011 atingiu 3,767 milhões de toneladas, numa área de aproximadamente 4.000 milhões de hectares. As melhores médias obtidas foram: Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com 1.700, 1.650 e 1.330 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (CONAB, 2012).

Em decorrência tanto do curto ciclo, como das características próprias do sistema radicular, o feijoeiro é considerado uma planta exigente em nutrientes, devendo-se colocá-los adequadamente, no tempo e no espaço, à sua disposição. De acordo com Ambrosano et al. (1996), a literatura é discordante quanto às quantidades de nutrientes absorvidas pelo feijoeiro. Pode-se estipular quantidades médias exigidas, para produção de 1000 kg de grãos de feijão: 35,5 kg de N, 4,0 kg de P, 15,3 kg de K, 3,1 kg de Ca, 2,6 kg de Mg e 5,4 kg de S. Nesse contexto, a análise detalhada da variabilidade dos atributos químicos do solo pode indicar alternativas de manejo para a redução dos efeitos da sua variabilidade sobre a produção das

culturas (DALCHIAVON et al., 2012).

A aplicação de técnicas de geoestatística permite modelar e descrever a variabilidade espacial dos atributos de solo e planta, favorecendo a construção de mapas de isolinhas com o nível de detalhe desejável para maior compreensão das relações entre o solo e as plantas (GILBERTO FILHO et al., 2011), possibilitando assim, estimar respostas em função de determinadas práticas de manejo (CARVALHO et al., 2002).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo analisar os aspectos lineares e espaciais da produtividade e componentes de produção do feijão correlacionados com os atributos químicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob cultivo mínimo em Selvíria, MS, utilizando-se de técnicas de análise estatística clássica e geoestatística.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na safra agrícola 2006/2007, no município de Selvíria, MS, de acordo com as coordenadas geográficas 20° 22' S latitude Sul e 51°22'W de longitude, com precipitação média anual de 1.300 mm e temperatura média de 23,7°C. O tipo climático é Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo no qual as malhas experimentais foram instaladas, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), é um Latossolo Vermelho distroférico típico muito argiloso, a moderado, hipodistrófico, álico, caulínítico, férrico, muito profundo, moderadamente ácido (Typic Acrustox), com declividade homogênea de 0,055 m m<sup>-1</sup>. A composição granulométrica da superfície analisada até 0,30 m é de 670 g kg<sup>-1</sup> de argila, 120 g kg<sup>-1</sup> de silte e 210 g kg<sup>-1</sup> de areia, o que lhe confere uma textura bastante argilosa. O solo estudado vem há pelo menos vinte anos sendo cultivado com rotação milho/feijão, respectivamente semeado no verão e inverno. Nos anos de 1998 e 2003, para os dois casos, o solo foi preparado com o arado de aivecas,

nos demais, as culturas foram implantadas pelo sistema plantio direto irrigado sob pivô central.

Antes da semeadura do feijão a área experimental foi cultivada com milho e, após a colheita, dessecada com uma aplicação de 1,8 kg ha<sup>-1</sup> do herbicida glyphosate. Em 6/5/2006 foi semeado, a cultivar Pérola, no espaçamento de 0,45 m entrelinhas, com a densidade de 300.000 plantas por hectare. Para tanto, empregou-se a quantia média de 14 sementes por metro de semeadura (FAHL et al., 1998). Foram definidas as direções x e y do sistema de coordenadas cartesianas, num lançante estabelecido entre dois terraços agrícolas. Empregou-se o nível ótico comum, efetuando-se o estaqueamento global das malhas experimentais após a semeadura do feijão, isto é, no primeiro decêndio de junho/2006, espaçadas de 20 m entre elas. Cada malha experimental foi constituída de nove transeções de 40 m x 40 m, espaçadas 5,00 m umas das outras, com pontos amostrais esquadrejados em 5,00 m x 5,00 m, contendo 81 deles. Entretanto, foram alocados, dentro da grande malha pontos com espaçamentos menores do que os mencionados, com espaçamento de 1,67 m entre eles, visando detalhar o estudo da dependência espacial. Como nesse caso foram 36, o total de pontos amostrais em cada malha de dados foi de 117.

Os atributos determinados foram os do solo e da planta, individualmente coletados no entorno de cada ponto amostral, que normalmente foi constituído da coleta dos dados da planta posicionada no centro e de suas circunvizinhas. Os atributos químicos do solo foram: matéria orgânica (MO), fósforo (P) e pH em CaCl<sub>2</sub>, coletados em três profundidades (0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m).

O teor de fósforo disponível no solo (P) foi determinado pelo método de extração com a resina trocadora de íons, dado em mg dm<sup>-3</sup>. Já o pH foi determinado potenciométricamente em solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01M enquanto que o carbono orgânico foi pelo método da combustão úmida, via colorimétrica, resultando no teor de matéria orgânica do solo (MO) pela seguinte expressão (RAIJ et al., 1987):

$$MO = C.17,24. (1)$$

Com relação aos atributos da cultura do feijoeiro foram avaliados: a) produtividade de grãos (PRG), com os valores transformados para as condições padronizadas de 0,13 kg kg<sup>-1</sup> de umidade, representados em kg ha<sup>-1</sup>, b) número de vagens por planta (NVP), c) número de grãos por vagem (NGV), d) número de grãos por planta (NGP), e) massa de cem grãos (MCG), em grama. Coletaram-se todas as plantas originadas do entorno do ponto amostral estaqueado. A área representativa dessa coleta foi de 3,20 m<sup>2</sup>, com quatro linhas de plantas (1,80 m x 1,80 m). Todas as análises foram efetuadas no Laboratório de Física e Química do Solo da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP.

Para cada atributo estudado foi efetuada a análise descritiva auxiliada pela estatística clássica. Utilizando-se o SAS (SCHLOTZHAVER e LITTEL, 1997) calculou-se a média, mediana, moda, valores mínimos e máximos, desvio padrão, coeficiente de variação, curtose, assimetria e distribuição de frequência. Posteriormente foram identificados os pontos anômalos (*outliers*), efetuando-se a substituição deles pelo valor médio dos circunvizinhos presentes na malha geoestatística. Foi efetuada a análise da distribuição de frequência dos dados, utilizando a estatística de Shapiro e Wilk, a 1% testando assim a hipótese de normalidade ou de lognormalidade dos atributos (x). Também, foi montada a matriz de correlação, visando efetuar as regressões lineares para as combinações, duas a duas, entre todos os atributos estudados (solo e planta). Assim, o objetivo principal foi de selecionar aqueles de elevada correlação, e que provavelmente poderiam apresentar semivariograma cruzado e, portanto, cokrigagem. Para cada camada estudada do solo, assim como para todas conjuntamente, foram efetuadas as regressões lineares múltiplas entre as variáveis independentes (solo) e as dependentes (planta) objetivando selecionar aquelas que, nos devidos casos, proporcionariam as melhores relações entre causa e efeito, por intermédio do Excel. Para os atributos que não apresentaram dependência

espacial, isto é, na ausência de estacionariedade, retirou-se a tendência dos dados por meio da técnica da regressão múltipla polinomial, conforme preceitos de Armesto (1999). Portanto, para cada atributo foi analisada a dependência espacial pelo cálculo do semivariograma, com bases nos pressupostos de estacionariedade da hipótese intrínseca, usando o pacote Gama Design Software (GS<sup>+</sup>, 2004). Os ajustes dos semivariogramas simples e cruzados, em função de seus modelos, foram efetuados prioritariamente pela seleção inicial de: a) o maior coeficiente de determinação ( $r^2$ ); b) a menor soma dos quadrados dos desvios (SQD), c) o maior avaliador do grau da dependência espacial (ADE). A decisão final do modelo que representou o ajuste foi realizada pela validação cruzada, assim como para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor malha de krigagem e/ou cokrigagem, realizadas por meio da krigagem em blocos. Para cada atributo, foram estimados o efeito pepita ( $C_0$ ), o alcance ( $A_0$ ) e o patamar ( $C_0 + C$ ). A análise do avaliador da dependência espacial (ADE) foi efetuada conforme a seguinte equação:

$$ADE = [C/(C+C_0)].10. (2)$$

Onde: ADE é o avaliador da dependência espacial; C é a variância estrutural;  $C+C_0$  é o patamar. A interpretação proposta para o ADE foi a seguinte: a)  $ADE \leq 25\%$  indicando variável espacial fracamente dependente; b)  $25\% < ADE \leq 75\%$  indicando variável espacial moderadamente dependente, e c)  $ADE > 75\%$  indicando variável espacial fortemente dependente. Por outro lado, sabe-se que a validação cruzada é uma ferramenta destinada a avaliar modelos alternativos de semivariogramas simples e cruzados que efetuam a krigagem e cokrigagem, respectivamente. Assim, trabalhando-se na obtenção do número ideal de vizinhos, foram obtidos, por meio da interpolação por krigagem, os mapas de krigagem para a interpretação e o detalhamento da variabilidade espacial dos atributos pesquisados. Os componentes geostatísticos determinados foram o semivariograma simples, validação cruzada e krigagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Pimentel Gomes e Garcia (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada segundo a magnitude do seu coeficiente de variação (CV). Suas classes foram determinadas como baixa ( $CV < 10\%$ ), média ( $10\% < CV < 20\%$ ), alta ( $20\% < CV < 30\%$ ) e muito alta ( $CV > 30\%$ ). A produtividade de grãos (PRG) e o número de grãos por vagem (NGV) apresentaram média variabilidade, com o coeficiente de variação de 18,3 % e 12,4%, respectivamente (Tabela 1). Assim, neste aspecto foi igual aos obtidos por Megda et al. (2008) avaliando um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto e Dalchiavon et al. (2011) que também encontraram valores de média variabilidade entre 17% a 20%, para os respectivos atributos estudados. Já o número de vagens por planta (NVP) e o número de grãos por planta (NGP) apresentaram alta variabilidade com coeficientes de variação de 20,6% e 24,2%, enquanto que a massa de cem grãos (MCG) teve baixa variabilidade 4,4%.

Com base nos limites do CV propostos por Pimentel Gomes e Garcia (2002) para a classificação de propriedades do solo observa-se na tabela 1, que a variável matéria orgânica (MO) apresentou nas camadas do solo 0,00-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, média a alta variabilidade, sendo respectivamente os valores iguais a 17,1%, 16,4% e 22,8%. Assim, esses dados concordaram com aqueles de Silveira e Cunha (2002), de 15% e 17% na profundidade de 0,00-0,05 m e de 15% e 16% na profundidade de 0,05-0,20 m, respectivamente para os tratamentos: arado de aveia e grade aradora pesada, analisado em um Latossolo Vermelho perférico, sendo considerado como média variabilidade. Dalchiavon et al. (2011), quando estudaram em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta em uma rede 135 pontos amostrais, avaliados nas profundidades de 0,00-0,20 m, cujo valor obtido foi de 13,9%, sendo considerado como média variabilidade e os de Bezerra (2008), quando trabalhado em um Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto em uma rede de

Tabela 1 - Análise descritiva inicial de alguns atributos da produtividade do feijão e de um Latossolo Vermelho distróférico sob cultivo mínimo em Selvíria, Mato Grosso do Sul.

Atributo <sup>(a)</sup>	Medidas estatísticas descritivas									Probabilidade do teste <sup>(b)</sup>	
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Pr<w		DF
			Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria			
Atributos da planta											
PRG (kg ha <sup>-1</sup> )	2034,8	2018,8	1214,9	3152,2	372,4	18,3	0,334	0,458	0,065	NO	
NVP	10,2	10,0	6,0	16,0	2,113	20,6	-0,005	-0,308	0,354	LN	
NGV	5,8	6,0	5,0	7,0	0,735	12,4	-	-	-	IN	
NGP	49,5	50,0	5,0	75,0	11,998	24,2	0,787	-0,319	0,233	NO	
MCG (g)	23,3	23,4	19,8	25,7	1,035	4,4	0,679	-0,086	0,197	NO	
Atributos químicos do solo											
MO1 (g dm <sup>-3</sup> )	16,3	16,9	8,0	22,9	2,806	17,1	0,366	-0,132	0,032	TNO	
MO2 (g dm <sup>-3</sup> )	15,9	15,7	9,1	22,9	2,601	16,4	-0,102	-0,069	0,042	TNO	
MO3 (g dm <sup>-3</sup> )	14,7	14,6	5,9	24,2	3,360	22,8	0,106	-0,070	0,184	NO	
P1 (mg dm <sup>-3</sup> )	24,0	20,0	13,0	53,0	10,4	43,4	-	-	-	IN	
P2 (mg dm <sup>-3</sup> )	21,2	19,0	11,0	48,0	9,12	43,0	-	-	-	IN	
P3 (mg dm <sup>-3</sup> )	18,6	4,0	6,0	73,0	12,60	67,9	-	-	-	IN	
pH1 (CaCl <sub>2</sub> )	4,7	4,7	4,3	5,4	0,209	4,4	0,134	0,476	0,050	LN	
pH2 (CaCl <sub>2</sub> )	4,7	4,7	4,3	5,3	0,207	4,3	0,229	0,453	0,055	NO	
pH3 (CaCl <sub>2</sub> )	4,8	4,8	4,2	5,4	0,244	5,1	-0,139	0,196	0,644	NO	

<sup>(a)</sup> PRG = produtividade de grãos do feijão; NVP = número de vagens por planta; NGV = número de grãos por vagem; NGP = número de grãos por planta; MCG = massa de cem grãos; DS, DP, PT, RP, UG, UV, MO, P, pH, de 1 a 3, são respectivamente, a densidade do solo, densidade da partícula, porosidade total, resistência à penetração, umidade gravimétrica, umidade volumétrica, matéria orgânica, fósforo e o potencial hidrogeniônico, coletados nas camadas do solo; <sup>(b)</sup> DF = distribuição de frequência, sendo NO, LN, TN e IN respectivamente do tipo normal, log-normal, tendendo a normal e indeterminada.

50x50 m, com 125 pontos amostrais, avaliados nas profundidades de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, que foi de 26% e 23%, respectivamente, em profundidade, sendo considerado como alta variabilidade.

Em relação ao teor de fósforo (P), houve variabilidade muito alta, com coeficientes de variação entre 43,4% e 67,9% (Tabela 1). Tais dados concordaram com aqueles de Souza et al. (1998), que foi de 40% e 56%, nas profundidades 0,00-0,05 e 0,05-0,20 m, respectivamente, em um Argissolo Vermelho escuro sob cultivo mínimo em uma malha quadrada com 40 pontos (10x4), espaçadas 1 x 1 m; Bezerra (2008), com valores de 58% e 52%, quando trabalhado em um Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto em uma rede de 50 x 50 m, com 125 pontos amostrais, avaliados nas profundidades de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, e com aqueles de Dalchiavon et al. (2011), que foi de 64,5%, trabalhando na profundidade 0,10-0,20 m em um Latossolo

Vermelho distrófico sob plantio direto, com 135 pontos amostrais.

Já a variabilidade do potencial hidrogeniônico (pH) nas três camadas de solo estudadas foi tida como baixa, apresentando valores entre 4-5%. Esses resultados foram semelhantes aqueles obtidos por Bezerra (2008) e Dalchiavon et al. (2011) quando trabalharam em um Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto, obtendo respectivamente, coeficientes de variação entre 4-7% (Tabela 1).

Quando uma variável estatística qualquer possuir distribuição de frequência do tipo normal, a medida de tendência central mais adequada para representá-la deve ser a média, em contrapartida, será representada pela mediana, ou pela média geométrica, caso seja do tipo lognormal (DALCHIAVON et al., 2011). Portanto, a medida de tendência central que representará os atributos PRG, NGP, MCG, MO3, pH2 e pH3 deverá ser a média, em razão deles terem apresentado

distribuição de frequência do tipo normal, com coeficientes de assimetria positiva, entre 0,196 e 0,458, assim como negativa, entre -0,319 e -0,070. Já os coeficientes de curtose positiva ficaram entre 0,106 e 0,787, e da negativa, com valor -0,139 correspondente ao pH3. Contudo, e independentemente desses coeficientes, foram não significativos a 5% pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk, uma vez que essa probabilidade variou entre 0,055 e 0,644 (Tabela 1). Dessa forma, a distribuição de frequência do tipo normal obtida para os referidos atributos, assim como as magnitudes dos coeficientes de assimetria e de curtose, ficaram, no geral, em concordância com dados análogos observados por Souza et al. (2006) e Martins et al. (2009). Os atributos NVP e pH1 apresentaram distribuição de frequência do tipo log-normal, já para o NGV, P1, P2, P3 do tipo indeterminada e MO1 e MO2 tendendo a normal (Tabela 1).

Tendo por base os estudos geoestatísticos que analisaram as correlações entre a produtividade média do feijão e os atributos químicos do solo, em relação ao presente trabalho, a produtividade média obtida foi de 2.034,8 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 1), ficando próximo dos resultados encontrados por Santos et al. (2005), que alcançou uma produtividade de 2.208 kg ha<sup>-1</sup> e distante da produtividade encontrada por Dalchiavon et al. (2011) que chegou a 3.044 kg ha<sup>-1</sup>. Assim, no presente trabalho a produtividade ficou 160% acima da produtividade mundial de feijão que foi de 782,3 kg ha<sup>-1</sup> segundo a FAO (2012), sendo que em regiões onde a agricultura é mais tecnificada, como o Estado de São Paulo, a produtividade média já ultrapassa 1.666 kg ha<sup>-1</sup> (SALVADOR, 2012).

Os valores médios da MO (MO1 de 16,3 g dm<sup>-3</sup>, MO2 de 15,9 g dm<sup>-3</sup> e MO3 de 14,7 g dm<sup>-3</sup>) e do P (P1 de 24 mg dm<sup>-3</sup>, P2 de 21,2 mg dm<sup>-3</sup> e P3 de 18,6 mg dm<sup>-3</sup>) sofreram uma diminuição em profundidade devido ao revolvimento do solo pelo escarificador. Souza et al. (1998), encontraram valores de MO entre 23,5 g dm<sup>-3</sup> e 27,9 g dm<sup>-3</sup> e P entre 13 mg dm<sup>-3</sup> e 47 mg dm<sup>-3</sup>, variando de forma distinta para as MOs e semelhante com

os resultados encontrados na presente pesquisa para os P. Assim, a produtividade de grãos de feijão do presente trabalho (2.034,8 kg ha<sup>-1</sup>), ainda que obtida nas condições de elevado nível tecnológico, não atingiu o valor superior da faixa nacional (3.000 kg ha<sup>-1</sup>) (FAHL et al., 1998), devido ao agravado estado de compactação que o solo trabalhado apresentou na sua camada superficial (0,00-0,30 m). Entretanto, seu valor poderia ter alcançado 3.390,0 kg ha<sup>-1</sup>, conforme estabelecido para o valor máximo desse atributo (Tabela 1).

A correlação entre a PRG e os atributos químicos do solo (Tabela 2) apresentou significância exclusivamente para os pares: PRG x MO2 ( $r = -0,315^{**}$ ) e PRG x MO3 ( $r = -0,190^*$ ). Nas figuras 1a e 1b foram apresentadas as equações de regressão entre os referidos atributos, dada pelo seguinte modelo potencial inverso de regressão:

$$PRG = a \cdot \exp^{MO2 \cdot b} \text{ (equação 1) e}$$

$$PRG = a \cdot \exp^{MO3 \cdot b} \text{ (equação 2)}$$

em que PRG é a produtividade de grãos de feijão (kg ha<sup>-1</sup>) e MO2 e MO3 (kg dm<sup>-3</sup>) correspondem à matéria orgânica estabelecidas nas camadas entre 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, respectivamente. Suas correlações, ainda que baixas, foram altamente significativas. Assim, quando ocorrer o máximo valor da MO2 (22,9 g dm<sup>-3</sup>) e da MO3 (24,2 g dm<sup>-3</sup>) implicará nos mínimos estimados da PRG (1.526 e 1.807 kg ha<sup>-1</sup>). Esta correlação inversa entre PRG e MO's, possivelmente foi dada devido à quebra da camada de palha resultado da escarificação, que incorpora a mesma no solo, aumentando assim, a taxa de mineralização da matéria orgânica e como se trata de uma área de produção de feijão com o sistema de pivô central, provavelmente os nutrientes liberados nesta mineralização foram lixiviados, diminuindo assim a produtividade. Basso et al. (2011) estudando a produtividade do feijão-guandu (*Cajanus cajan*) em Selvíria, MS, num Latossolo Vermelho distroférico encontraram uma correlação direta e significativa entre a produtividade de matéria seca do guandu versus MO ( $r = 0,197^*$ ). Dalchiavon et al. (2011)

Tabela 2 - Quarto quadrante da matriz de correlação linear simples entre alguns atributos de um Latossolo Vermelho distroférico sob cultivo mínimo em Selvíria, Mato Grosso do Sul.

Atributos <sup>(a)</sup>	Coeficiente de correlação <sup>(b)</sup>													
	PRG	NVP	NGV	NGP	MCG	MO1	MO2	MO3	P1	P2	P3	pH1	pH2	pH3
NVP	0,271**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NGV	0,111	0,741**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NGP	0,429**	0,654**	0,478**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MO1	-0,125	-0,065	-0,093	-0,012	0,040	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MO2	-0,315**	-0,066	-0,044	-0,139	0,023	0,542**	-	-	-	-	-	-	-	-
MO3	-0,190*	-0,114	-0,112	-0,199*	0,084	0,371**	0,636**	-	-	-	-	-	-	-
P1	-0,027	0,072	0,191*	-0,023	-0,098	0,253**	0,192*	0,248**	-	-	-	-	-	-
P2	-0,005	-0,001	0,125	-0,099	-0,135	0,131	0,133	0,265**	0,795**	-	-	-	-	-
P3	-0,122	0,050	0,156	-0,124	-0,081	0,032	0,103	0,287**	0,636**	0,663**	-	-	-	-
pH1	-0,121	-0,120	-0,118	-0,113	-0,073	0,187*	0,151	0,159	0,112	0,140	0,165	-	-	-
pH2	-0,024	-0,042	-0,092	-0,019	-0,030	0,098	0,107	0,069	0,049	0,054	0,053	0,781**	-	-
pH3	-0,044	-0,054	-0,101	-0,039	-0,093	-0,042	0,072	0,185	0,055	0,081	0,062	0,692**	0,773**	-

(a) PRG, NVP, NGV, NGP e MCG são respectivamente a produtividade de grãos, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta e a massa de cem grãos; MO, P e pH, de 1 a 3, são respectivamente a, matéria orgânica, fósforo e o potencial hidrogeniônico, coletadas nas camadas do solo; (b)\* Significativo ( $p < 0,05$ ). \*\* Significativo ( $p < 0,01$ ).

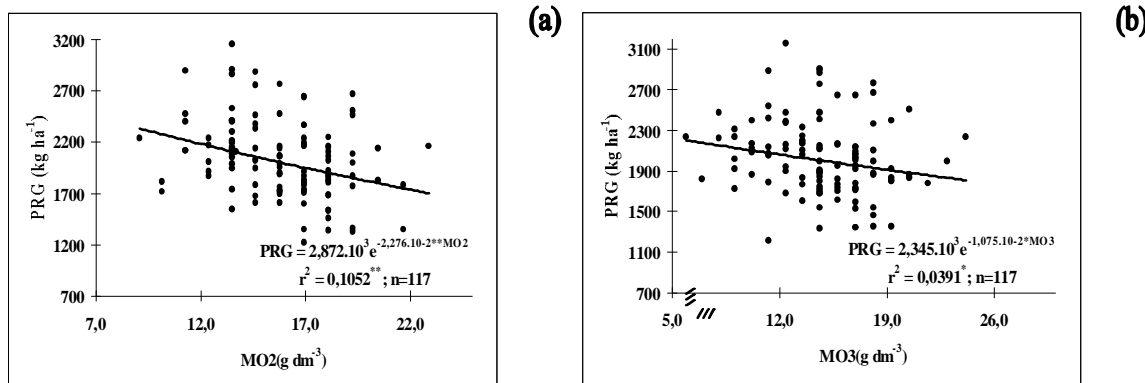


Figura 1 - Equação de regressão entre atributos da cultura do feijão e de um Latossolo Vermelho distroférico sob cultivo mínimo em Selvíria, Mato Grosso do Sul.

encontraram correlação direta e significativa entre a produtividade de feijão versus matéria orgânica e pH ( $PG \times MO = 0,212^*$ ) e ( $PG \times pH = 0,295^{**}$ ).

A análise geoestatística (Tabela 3) atestou que os atributos #PRG, NVP, NGV, #NGP, MCG, MO1, MO2 e #MO3, apresentaram efeito pepita puro, não apresentando dependência espacial. Em todos os demais atributos que apresentaram

dependência espacial, no tocante ao desempenho dos semivariogramas, a relação decrescente deles, analisada pela grandeza do coeficiente de determinação espacial ( $r^2$ ), foi a seguinte: 1) pH1 (0,979), 2) #P1 (0,945), 3) #P3 (0,938), 4) pH3 (0,907), 5) #P2 (0,887), 6) pH2 (0,826). Assim, em relação ao primeiro (pH1), que teve elevado coeficiente de determinação espacial, observou-se o seguinte: o seu valor do  $r^2$  (0,979) indicou ser

o atributo de melhor ajuste semivariográfico. Em relação ao ADE, a forte dependência verificada (ADE = 84,2%) e o modelo esférico modelado também concordaram com o referido autor, no qual o ADE observado foi de 91,2%. Também o alcance do pH1 do presente trabalho (16,5 m) foi menor do que aquele do citado autor, que foi de 51,2 m. Dalchiavon et al. (2011), quando estudaram o sistema de semeadura direta, obtiveram o valor de  $r^2$  de 0,936. Já para o ADE, a forte dependência verificada (ADE = 76,7%) e o modelo esférico encontrado também

concordaram com o referido autor. Também o alcance do pH do presente trabalho (16,5 m) foi menor do que aquele do citado autor, que foi de 25,8 m.

Na tabela 3, observa-se a relação decrescente dos alcances da seguinte maneira: 1) #P3 (35,4 m), 2) #P1 (23,0 m), 3) #P2 (20,4 m), 4) pH1 (16,5 m), 5) pH3 (15,7 m) e 6) pH2 (13,8 m). Portanto, nas condições da presente pesquisa, assim como, visando auxiliar pesquisas futuras, nas quais os mesmos atributos estejam envolvidos, os valores dos alcances a serem utilizados nos pacotes

Tabela 3 - Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos da produtividade do feijão e de um Latossolo Vermelho distroférrico sob cultivo mínimo em Selvíria, Mato Grosso do Sul.

Atributo <sup>(a)</sup>	Modelo <sup>(b)</sup>	Parâmetros do ajuste					Avaliador da dependência espacial		
		Efeito Pepita (C <sub>0</sub> )	Patamar (C <sub>0</sub> +C)	Alcance (A <sub>0</sub> ) (m)	r <sup>2</sup>	SQR <sup>(c)</sup>	ADE <sup>(d)</sup>	Classe	
		$\gamma(h)$ simples dos atributos da planta							
#PRG (kg ha <sup>-1</sup> )	epp	1,163.10 <sup>5</sup>	1,163.10 <sup>5</sup>	-	-	-	-	-	
NVP	Epp	4,382	4,382	-	-	-	-	-	
NGV	Epp	5,410.10 <sup>-1</sup>	5,410.10 <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	
#NGP	Epp	1,041.10 <sup>2</sup>	1,041.10 <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	
MCG	Epp	1,121	1,121	-	-	-	-	-	
$\gamma(h)$ simples dos atributos químicos do solo									
MO1 (g dm <sup>-3</sup> )	Epp	7,866	7,866	-	-	-	-	-	
MO2 (g dm <sup>-3</sup> )	Epp	6,805	6,805	-	-	-	-	-	
#MO3 (g dm <sup>-3</sup> )	Epp	9,066	9,066	-	-	-	-	-	
#P1 (mg dm <sup>-3</sup> )	exp (58)	2,950.10	3,518.10	23,0	0,945	4,010.10	54,4	Moderada	
#P2 (mg dm <sup>-3</sup> )	esf (102)	2,140.10	6,708.10	20,4	0,887	1,990.10 <sup>2</sup>	68,1	Moderada	
#P3 (mg dm <sup>-3</sup> )	esf (58)	5,130.10	1,394.10 <sup>2</sup>	35,4	0,938	2,660.10 <sup>2</sup>	63,2	Moderada	
pH1 (CaCl <sub>2</sub> )	esf (92)	6,600.10 <sup>-3</sup>	4,190.10 <sup>-3</sup>	16,5	0,979	1,622.10 <sup>-5</sup>	84,2	Forte	
pH2 (CaCl <sub>2</sub> )	esf (94)	1,598.10 <sup>-2</sup>	4,386.10 <sup>-2</sup>	13,8	0,826	9,800.10 <sup>-5</sup>	63,6	Moderada	
pH3 (CaCl <sub>2</sub> )	esf (58)	3,090.10 <sup>-2</sup>	6,370.10 <sup>-2</sup>	15,7	0,907	8,959.10 <sup>-5</sup>	51,5	Moderada	

<sup>(a)</sup> PRG = produtividade de grãos do feijão, NVP = número de vagens por planta, NGV = número de grãos por vagem, NGP = número de grãos por planta, MCG = massa de cem grãos, MO = matéria orgânica, P = fósforo, pH = potencial hidrogeniônico; atributo precedido por # identifica resíduo dos dados; <sup>(b)</sup> exp = exponencial, esf = esférico e epp = efeito pepita puro; modelo sucedido por número entre parêntesis, significando o número de pares no primeiro lag; <sup>(c)</sup> SQR = soma dos quadrados dos resíduos; <sup>(d)</sup> ADE = avaliador da dependência espacial.



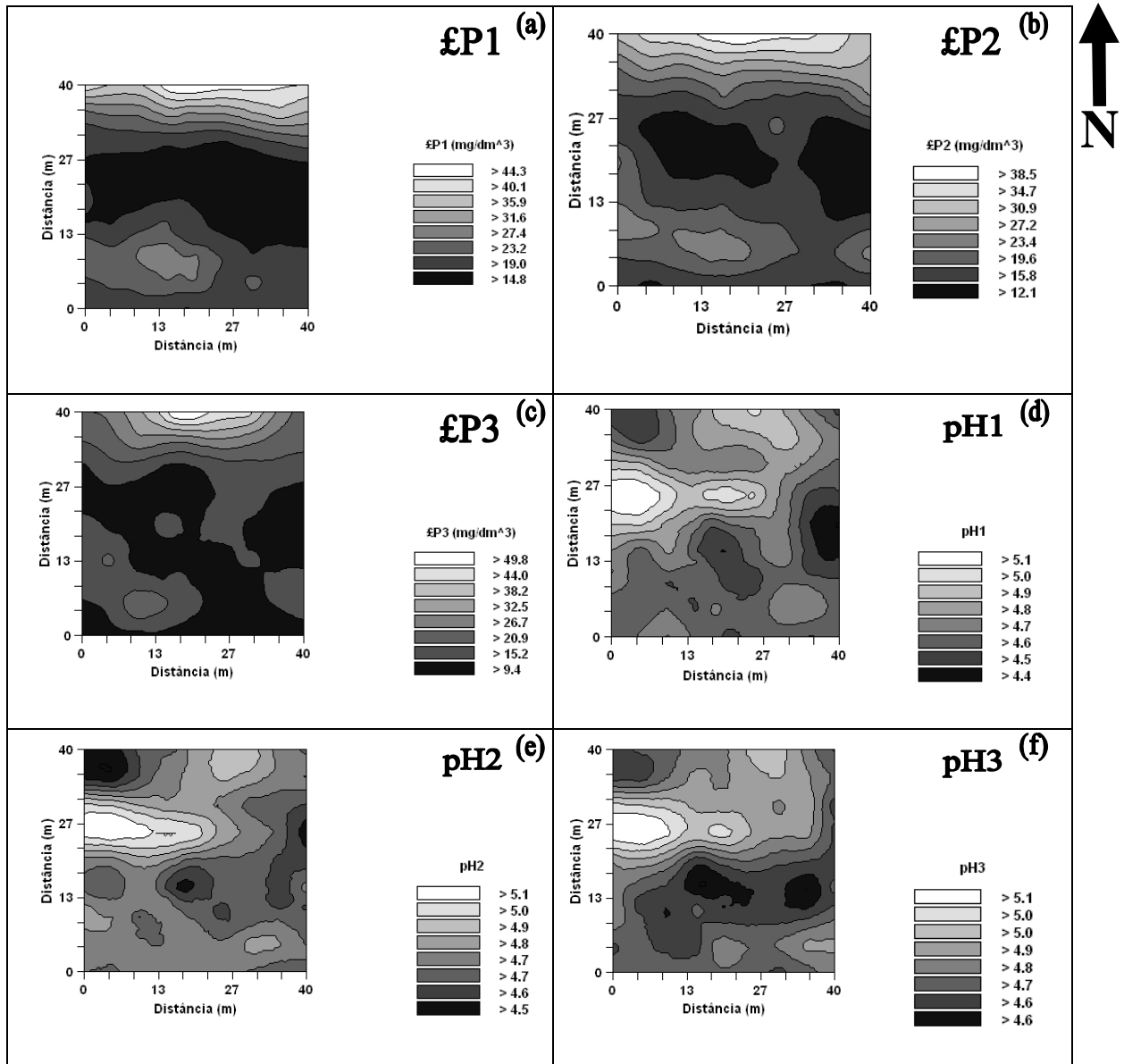


Figura 2 - Mapas de krigagem dos atributos de um Latossolo Vermelho distroférrico (P1, P2, P3, pH1, pH2 e pH3) sob cultivo mínimo em Selvíria, Mato Grosso do Sul.

geostatísticos, que alimentarão os pacotes computacionais empregados na agricultura de precisão, no geral, não deverão ser menores do que 13,8 m.

Na comparação inicial dos mapas de krigagem (Figura 2) pode ser notada semelhança espacial entre os teores de fósforo (P). Na região central do mapa foram observados os menores valores de fósforo para as três profundidades estudadas ou entre os valores de potencial hidrogeniônico (pH) na região centro sul em profundidade. Assim, nas figuras 2a, b e c, os

mapas de krigagem do teor de fósforo nas três profundidades apresentaram as menores cifras (9,4-27,4 mg dm<sup>-3</sup>) na maioria das regiões dos mapas. Já nas figuras 2d, e e f, os mapas de krigagem do potencial hidrogeniônico apresentaram as maiores cifras (4,8-5,1) nas regiões noroeste dos mapas.

## CONCLUSÕES

O cultivo mínimo não apresentou semivariograma cruzado entre os atributos de

planta versus solo, possivelmente devido à escarificação do solo, que desencadeou uma heterogeneização do sistema.

A correlação inversa entre PRG e MO's, possivelmente foi dada devido à quebra da camada de palha resultado da escarificação, que incorpora a mesma no solo, aumentando assim, a taxa de mineralização da matéria orgânica e os nutrientes liberados nesta mineralização foram lixiviados, diminuindo, portanto a produtividade.

A média de produtividade de grãos do feijoeiro, com coeficiente de 18,3%, ocorrida no sistema cultivo mínimo do solo, pode ter sido consequência de uma menor população de plantas que esse sistema proporcionou, causado pela diminuição do conteúdo de matéria orgânica no solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBROSANO, E.J. et al. Efeito do nitrogênio no cultivo de feijão irrigado no inverno. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.53, p.338-343, 1996.
- ARMESTO, M.V. **Variabilidade espacial e temporal da erosión en solos de cultivo**. 1999. 118f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências, Universidade da Coruña, La Coruña.
- BASSO, F.C. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade e o teor de proteína bruta do guandu anão e os atributos de um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, p.521-530, 2011.
- BEZERRA, C.R. de F. **Variabilidade espacial da produtividade de forragem do milho safrinha em função de atributos químicos do solo**. 2008. 70f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.
- CARBONELL, S.A.M. et al. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. **Bragantia**, Campinas, v.62, p.369-379, 2003.
- CARVALHO, M. P. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob preparo convencional em Selvíria, estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.24, p.1353-1361, 2002.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, terceiro levantamento**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 08 fev. 2012.
- DALCHIAVON, F.C. et al. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v.70, p.908-916, 2011.
- DALCHIAVON, F.C. et al. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho distroférrico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agrônômica**, Campinas, v.43, p.453-461, 2012.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306p.
- FAHL, J.I. et al. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 6.ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1998. p.132-134, Boletim técnico, 200.
- FAO. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **Perspectivas dos alimentos: uma análise dos mercados mundiais**. Disponível em: <<http://www.fao.org>> Acesso em: 12 jan. 2012.
- GILBERTO FILHO, R. et al. Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Bragantia**, Campinas, v.70, p.439-446, 2011.
- GS+: **Geostatistics for environmental sciences**. 7. ed. Plainwell: Gamma Desing Software, 2004. 159p.
- MARTINS, M.V. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, p.147-154, 2009.
- MEGDA, M.M. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um Latossolo Vermelho de Selvíria (MS).

**Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.781-788, 2008.

PIMENTEL-GOMES, F.P., GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

RAIJ, B. van. et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

SALVADOR, C.A. **Análise da conjuntura agropecuária**. Disponível em: < [http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/feijao\\_2011\\_12.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/feijao_2011_12.pdf).> Acesso em: 12 jan. 2012.

SANTOS, P.A. et al. Correlação linear e espacial entre o rendimento de grãos do feijoeiro e a resistência mecânica a penetração em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.287-295, 2005.

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

SILVEIRA, P.M.; CUNHA, A.A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.1325-1332, 2002.

SOUZA, L.S. et al. Variabilidade de fósforo, potássio, e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.77-86, 1998.

SOUZA, Z.M. et al. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, p.128-134, 2006.