

Variabilidade espacial da produtividade do feijão em um Latossolo Vermelho distroférico sob preparo convencional e plantio direto

Onã da Silva Freddi^{1*}, Morel de Passos e Carvalho², José Frederico Centurion¹ e Giselle Feliciani Barbosa²

¹Departamento de Solos e Adubos, Universidade Estadual Paulista, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n., 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. ²Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Av. Brasil, 56, Centro, C. P. 31, 15385-000, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência: e-mail: onafreddi@fcav.unesp.br.

RESUMO. Os efeitos dos sistemas de preparo do solo sobre o rendimento de grãos de feijão são muito controversos, ora favoráveis ao plantio direto, ora ao preparo convencional. O objetivo do trabalho foi estudar a variabilidade espacial da produtividade de grãos (PG) e de palha (PP) da cultura do feijão, estabelecida num Latossolo Vermelho distroférico sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), desenvolvido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (Feis/Unesp), localizada no município de Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul. As malhas de amostragem contiveram 120 pontos para o PC e 135 pontos para o PD. Os parâmetros da cultura estudados apresentaram estrutura de dependência espacial com grau de dependência moderado para o PD e forte para o PC. O maior alcance encontrado foi de 26,1 m para a PG sob PD. Os diferentes sistemas de preparo do solo pesquisados não influenciaram a PG da cultura do feijão.

Palavras chave: geoestatística, dependência espacial, krigagem, *Phaseolus vulgaris*, preparo do solo.

ABSTRACT. Spatial variability of bean productivity in oxisol under conventional tillage and no-tillage systems. There are some controversies according to soil system preparation effects varying from no-tillage system to conventional one. This work aims at studying the bean plant in two aspects: the spatial variability of grains and straw yield in Oxisol under conventional tillage (CT) and no-tillage (NT) systems. It was carried out at *Ilha Solteira* Experimental Station of Unesp (*Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS*) in Selvíria, Mato Grosso do Sul State, Brazil. The geostatistics grids consisted of 120 points for CT and 135 points for NT. The parameters of the studied culture showed spatial dependence structure with moderate dependence for CT and a very strong one for NT. The highest range found was 26.1 m for the CT under the NT. The different soil preparation systems did not influence bean productivity.

Key words: geostatistics, spatial dependence, kriging, *Phaseolus vulgaris*, soil tillage.

Introdução

No Brasil, o cultivo do feijoeiro constitui-se em uma das principais explorações agrícolas, não só pela área cultivada, mas também pelo valor da produção. Trata-se de um alimento fundamental para a população brasileira, sendo importante fonte de proteínas e calorias (Soratto, 2002). Na safra 2001/2002, a produção nacional de feijão alcançou 3,18.10⁶ t, ocupando uma área de aproximadamente 4,29.10⁶ha, com destaque para as regiões nordeste, sul e sudeste, que produziram, respectivamente, 0,95.10⁶; 0,90.10⁶ e 0,89.10⁶ t de grãos, com rendimento nacional médio de 0,630 t ha⁻¹, considerado baixo, uma vez que a cultura tem potencial para produtividade superior a 3,500 t ha⁻¹. Entretanto, em regiões nas quais a agricultura vem

sendo frequentemente modernizada, como é o exemplo do Estado de São Paulo, o rendimento da cultura chegou ao valor de 1,500 t ha⁻¹ (Nehmi *et al.*, 2003).

Na literatura, diversos autores afirmam que os efeitos dos sistemas de preparo do solo sobre o rendimento de grãos de feijão são muito dependentes das condições locais ou sazonais, apresentando resultados controversos, ora favoráveis ao plantio direto, ora ao preparo convencional (Coan e Arcuri, 1995; Boller, 1996; Furlani, 2000; Soratto, 2002).

A escolha de um sistema de cultivo é extremamente complexa, mudando drasticamente com a região, tipo de solo e condições climáticas, entre outras. Assim, a seleção de um método de preparo do solo, e de um sistema de manejo de

cobertura no período do inverno são muito importantes no auxílio da conservação do solo (Furlani e Gamero, 2001). No Brasil, diversos autores relataram o uso de práticas de manejo inadequadas às condições edafo-climáticas, associadas à cultura do feijão (Boller e Caldato, 2001).

O preparo do solo por aração e gradagem, com uso freqüente de cultivadores, é realizado, na maioria das vezes, fora das condições ideais de umidade, traduzindo-se em diminuição da eficiência de insumos aplicados e na degradação do solo (Fornasieri Filho e Fornasieri, 1993; Oliveira *et al.*, 2004), bem como a redução da produtividade das culturas (Mielniczuk e Schneider, 1984). A adoção do sistema de plantio direto vem se expandindo no país, sendo uma alternativa de substituição ao preparo convencional, podendo contribuir para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas intensivos.

O objetivo do presente trabalho, portanto foi estudar a variabilidade espacial da produtividade de grãos da cultura do feijão estabelecido em diferentes sistemas de preparo do solo.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/Unesp), localizada no município de Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul. Sua precipitação média anual é de 1300 mm, enquanto que a temperatura média é de 23,7°C. O tipo climático é Aw, segundo Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno (Demattê, 1980). O solo no qual as malhas experimentais foram instaladas, classificado segundo Embrapa (1999), foi um Latossolo Vermelho distroférico típico muito argiloso. A moderado, hipodistroférico, álico, caulinitico, férrico, epicompactado, muito profundo, moderadamente ácido.

As áreas experimentais, instaladas sob pivô central, foram cultivadas nos últimos seis anos para a produção de grãos com a sucessão milho/feijão. Visando-se caracterizá-las inicialmente, antes do preparo do solo, foi efetuado um levantamento do estado inicial de sua compactação e fertilidade. Para a avaliação da compactação foram tomados, de forma aleatória, 20 perfis de resistência mecânica à penetração (RP) com um penetrômetro de impacto (Stolf, 1991), efetuando-se o controle da leitura da resistência através da obtenção da respectiva umidade gravimétrica do solo. Da mesma forma, foram tomados 20 perfis de gradagem para a avaliação da situação inicial de sua fertilidade. Tais amostras foram coletadas nas camadas de 0,00 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m; 0,20 a 0,30 m e 0,30 a 0,40 m.

Os parâmetros da cultura avaliados foram a

produtividade de palha (PP) e a produtividade de grãos (PG), obtidas através de malhas experimentais em duas situações distintas, a saber, o preparo convencional (PC) e o plantio direto (PD). O preparo do solo, realizado na área de PC, constituiu-se de uma aração (arado de discos) até a profundidade de 0,20 m e duas gradagens niveladoras, sendo a primeira com a grade aradora e a segunda com grade niveladora, ambas na profundidade de 0,15 m. Na área de PD, a semeadura foi realizada com uma semeadora-adubadora apropriada. Em 06/05/2002 foi semeada, nas duas áreas, a cultivar de feijoeiro IAC Carioca Eté, no espaçamento de 0,50 m entrelinhas e com 15 sementes por metro, o qual proporcionou uma densidade média de 12 plantas por metro. Na adubação de semeadura foram utilizados 200kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16 e na de cobertura, realizada após 20 dias, a emergência das plântulas, 200kg ha⁻¹ da fórmula 20-00-20. A colheita foi efetuada após 96 dias da semeadura, em 09/08/2002, data em que foram coletadas a PP e PG. As práticas normais de condução da cultura foram procedidas homogêneas em toda área experimental.

Para a instalação das malhas, foram definidas as direções X e Y do sistema de coordenadas cartesianas, em um lançante da cultura do feijão estabelecido entre dois terraços agrícolas. Para tanto, foi utilizado um nível ótico comum, efetuando-se o estaqueamento das malhas experimentais após a semeadura da cultura que contivera 120 pontos para o PC e 135 pontos para o PD, conforme o esquema observado na Figura 1.

A PG e a PP foram calculadas através das plantas coletadas no entorno de cada ponto amostral. A área útil de coleta foi de 4 m² (2 m x 2 m), com a alocação do ponto amostral posicionado no seu centro, a qual sempre conteve quatro linhas de feijão. A PP foi constituída do peso seco total da planta, em condições de secagem natural ao sol, descontando-se o peso total de grãos. A PG foi determinada para a condição de 13% de umidade.

Efetou-se a análise descritiva inicial dos dados através do SAS (Schlotzhaver e Littel, 1997), evidenciando-se a média, mediana, valores mínimo e máximo, coeficiente de variação, curtose e assimetria. Também foi efetuada a análise de distribuição de freqüência dos dados, objetivando-se testar a hipótese de normalidade pelo teste de Shapiro e Wilk (1965) a 1%. Para comparação entre as médias dos parâmetros da cultura avaliados (PP e PG) e para RP foi utilizado o teste “t” de Student, a 5% de probabilidade. A análise da dependência espacial foi efetuada através do ajuste do semivariograma, pelo GS+ (Robertson, 1998). Utilizou-se a validação cruzada para avaliar a combinação do modelo do semivariograma ajustado, seus parâmetros e o tamanho da vizinhança que proporcionou o melhor ajuste. Por último, foi

efetuada a construção de mapas de krigagem para os parâmetros da cultura estudados (PP e PG), estabelecendo-se espacialmente nas áreas a localização de baixa, média e alta produtividade do feijoeiro. Os limites de produtividade adotados foram: a) baixa: $PG < 2,0 \text{ t ha}^{-1}$; b) média: $2,0 \leq PG \leq 2,5 \text{ t ha}^{-1}$, e c) alta: $PG > 2,5 \text{ t ha}^{-1}$, conforme proposto por Jorge *et al.* (1990).

Resultados e discussão

Na Tabela 1, observa-se que a área implantada com PD apresentou maior resistência mecânica à penetração que a área de PC em todas as camadas, mesmo antes do preparo do solo. Entretanto, observa-se que nessa ocasião a umidade do solo estava abaixo da ideal, o que pode ter contribuído para os elevados valores de RP, principalmente no PD. Por outro lado, a fertilidade encontrada em ambas as áreas, na camada de 0,00 a 0,20 m, foi semelhante.

O conhecimento da distribuição de frequência dos dados de uma variável tem importantes conseqüências práticas, uma vez que os métodos de análise a serem aplicados são distintos para as diferentes distribuições. Exemplificando, sabe-se que a média é uma boa medida descritiva para dados com distribuição normal. No entanto, o mesmo não acontece para aqueles com distribuição lognormal, aos quais a mediana torna-se uma boa medida descritiva (Spiegel, 1985). Assim, a análise da Tabela 2 revelou que todos os parâmetros estudados possuíam distribuição de frequência do tipo normal, sendo a média uma boa medida para representá-los. Segundo Gonçalves *et al.* (2001), a normalidade dos dados é muito interessante na avaliação da dependência espacial, porém mais importante que a normalidade é a verificação de que os dados não apresentem tendência (Gonçalves *et al.*, 2001).

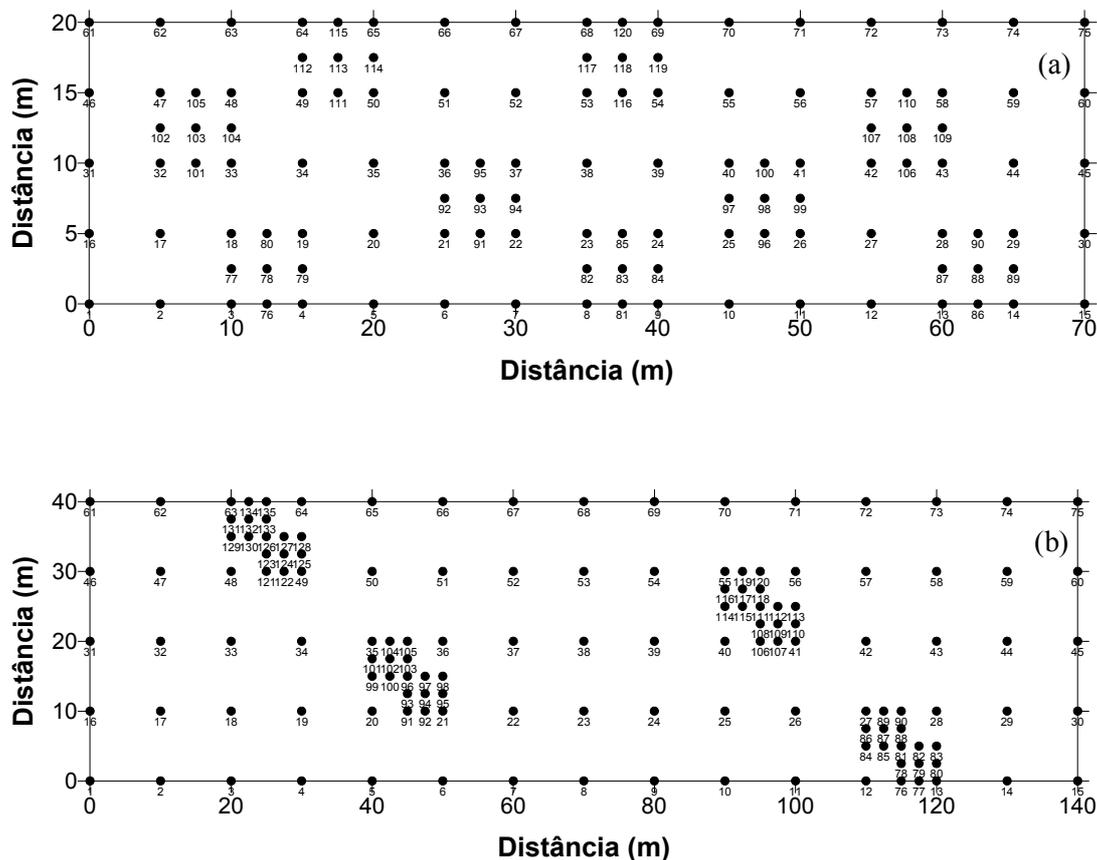


Figura 1. Esquema das malhas alocadas num Latossolo Vermelho da Fazenda de Ensino e Pesquisa/Cerrado (FEIS/Unesp) em Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul, sob preparo convencional (a) e plantio direto (b).

Tabela 1. Valores médios da resistência mecânica do solo à penetração, umidade do solo e análises químicas para fins de fertilidade de um Latossolo Vermelho obtidos antes do preparo do solo.

Preparo do solo	Prof.	RP ^(a)	U ^(b)	pH	MO	P	Complexo sortivo					V%		
							K	Ca	Mg	H+Al	Al		SB	CTC
PC	m	MPa	Kg kg ⁻¹	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmole dm ⁻³							
	0,00-0,10	2,18b	0,17	4,9	26	41	6,2	25	13	42	1	44,2	86,2	51

se construir um gráfico de valores estimados *versus* medidos para todos os pontos. Um ajuste perfeito teria um coeficiente de regressão igual a um e a linha do melhor ajuste coincidiria com o modelo perfeito, isto é, com o coeficiente linear (a) igual a zero e o angular (b) igual a um (Robertson, 1998). Portanto, os modelos dos semivariogramas ajustados para realização da krigagem apresentaram-se de forma excelente, uma vez que os coeficientes lineares (a) e angulares (b) dos ajustes efetuados variaram entre 0,008 a 0,246 e 0,906 e 0,996, respectivamente. Logo, todos os parâmetros estudados apresentaram funções positivas e crescentes, com retas próximas entre si. Assim, as linhas contínuas mostraram a função descrita pelos dados estimados pela krigagem (Figura 3).

Nos mapas de krigagem (Figuras 4 e 5) observa-

se que 86,1% da área sob PC apresentou produtividade acima de 2,5 t ha⁻¹, já para o PD foi de 65,7%, apresentando ainda 2,9% de sua área com produtividade inferior a 2 t ha⁻¹. No geral, a análise dos mapas evidenciou claramente o predomínio de elevadas produtividades da cultura em ambos os manejos do solo utilizados. Uma das vantagens desses mapas de krigagem é a exata localização de áreas com baixas produtividades. Dessa forma, podem-se destinar as áreas de média e baixa produtividade para a condição de elevada produtividade, sendo, contudo, impossível de se realizar essa idéia somente com base nos dados médios, conforme estabelecidos na Tabela 2. Observa-se também que a PP não apresentou correlação espacial com a PG nos dois sistemas de preparo do solo utilizado.

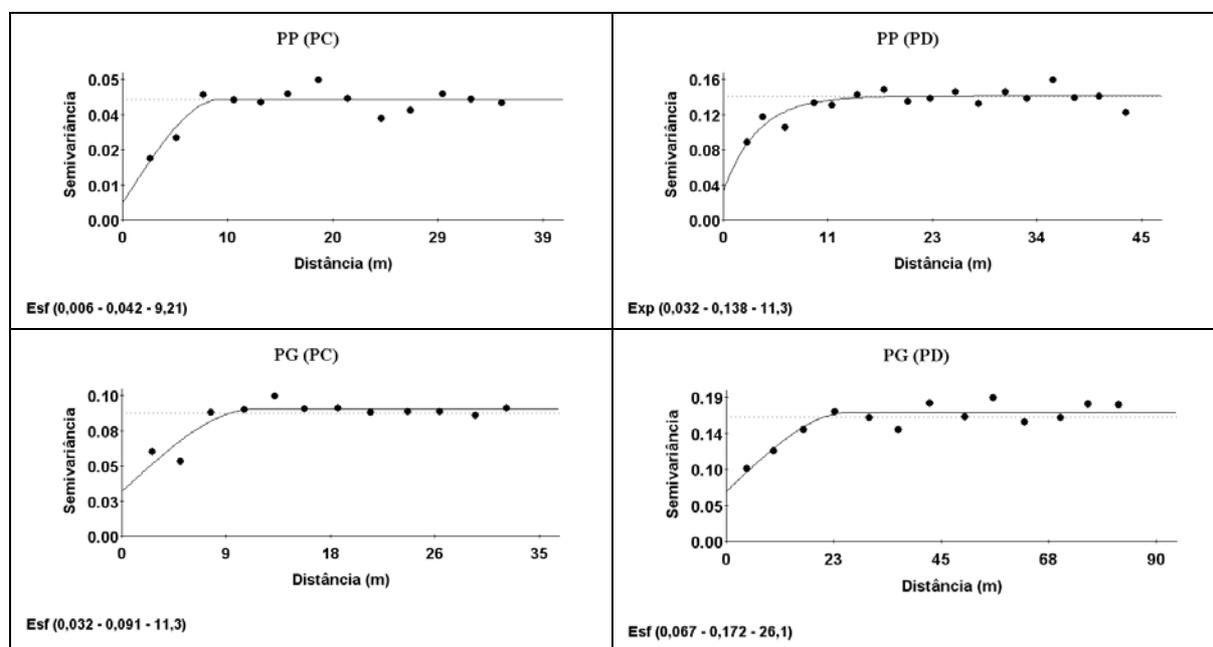
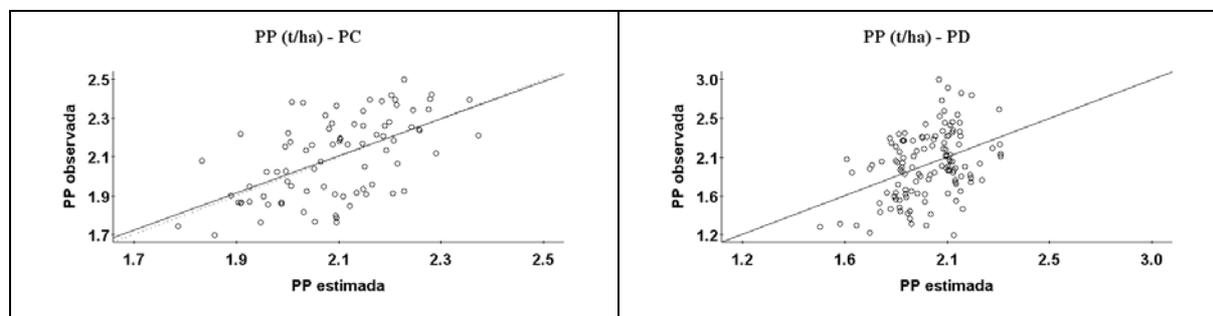


Figura 2. Semivariogramas da produtividade de palha (PP) e grãos (PG) de um Latossolo Vermelho. PC = preparo convencional, PD = plantio direto.



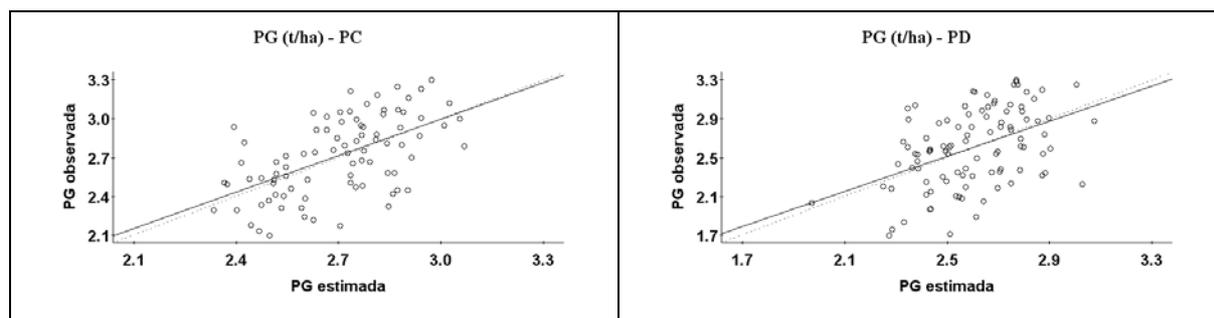


Figura 3. Validação cruzada da krigagem da produtividade de palha (PP) e grãos (PG) de um Latossolo Vermelho. PC = preparo convencional, PD = plantio direto.

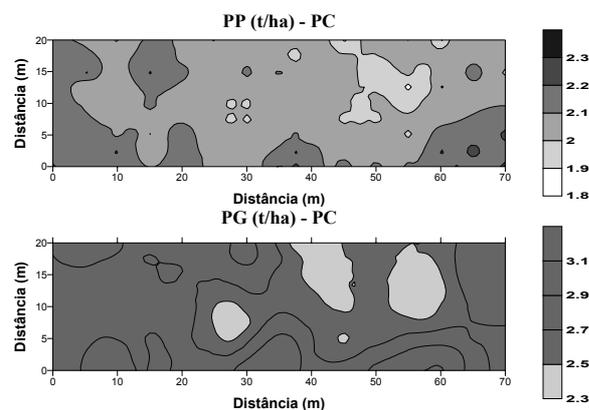


Figura 4. Mapas de krigagem da produtividade de palha (PP) e grãos (PG) de um Latossolo Vermelho sob preparo convencional (PC).

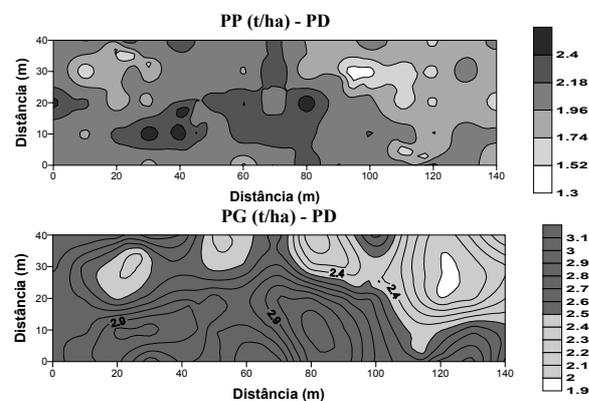


Figura 5. Mapas de krigagem da produtividade de palha (PP) e grãos (PG) de um Latossolo Vermelho sob plantio direto (PD).

Conclusão

Os parâmetros da cultura estudados apresentaram estrutura de dependência espacial com grau de dependência moderado para o plantio direto e forte para o preparo convencional. O maior alcance encontrado foi para a produtividade grãos do plantio direto.

Os diferentes sistemas de preparo do solo pesquisado não influenciaram a produtividade de grãos da cultura do feijão.

Referências

- BOLLER, W. *Avaliação de diferentes sistemas de manejo do solo visando à implantação da cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.)*. 1996. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.
- BOLLER, W.; CALDATO, D. Desenvolvimento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em diferentes condições de cobertura e de preparo do solo. *Engenharia Agrícola*, Sorocaba, v.21, n.2, p.167-173, 2001.
- BRESSLER, E. *et al.* Spatial variability of crop yield as a stochastic soil process. *J. Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, v.45, n.3, p.600-605, 1981.
- COAN, O.; ARCURI, J. F. Sistemas de preparo do solo: efeitos sobre a camada mobilizada e no comportamento da cultura do feijoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1995, Viçosa. *Resumos...* Viçosa: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1995. p.379.
- CUNHA, A. A. *et al.* Variabilidade da produtividade de grãos de milho e de feijão em um Latossolo submetido a diferentes preparos do solo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.23, n.1, p.93-100, 2002.
- DEMATTE, J. L.I. *Levantamento detalhado dos solos de "Campus experimental de Ilha Solteira"*. Piracicaba: Departamento de Solos, Geologia e Fertilidade ESALQ/USP, 1980.
- EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. *Manual da cultura do arroz*. Jaboticabal: FUNESP, 1993.
- FURLANI, C. E. A. *Efeito do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno na cultura do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.)*. 2000. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.
- FURLANI, C.E.A.; GAMERO, C.A. Produtividade da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em diferentes sistemas de preparo do solo e manejos da cobertura de inverno. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v.16, n.3, p.7-19, 2001.
- GONÇALVES, A. C. C. *et al.* Variabilidade espacial de produtividade e de resistência à penetração em área irrigada, sob dois sistemas de preparo. In: AVANCES EN

- EL MANEJO DEL SUELO Y ÁGUA EN LA INGENIERÍA RURAL LATINOAMERICANA, 1998, La Plata. *Anais...* La Plata: UNLP, 1998. p.113-119.
- GONÇALVES, A.C.A. *et al.* Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. *Acta Scientiarum*, Maringá, v.23, n.5, p.1149-1157, 2001.
- GOMES, F.P. *A estatística moderna na pesquisa agropecuária*. 1. ed. Piracicaba: Potafós, 1984.
- GOMES, A.S.; PENÃ, Y.A. Caracterização da compactação através do uso do penetrômetro. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.49, p.18-20, 1996.
- JORGE, J. A. *et al.* *Instruções agrícolas para o estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônômico, 1990. (Boletim, 200).
- JOURNAL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. *Mining geostatistics*. 5 ed. London: Academic Press, 1991.
- LIBARDI, P.L. *et al.* Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas so longo de uma transeção. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.10, n.1, p.85-90, 1986.
- LIMA, E. P. *et al.* Efeitos de restos culturais de milho (*Zea mays* L.) e sistemas de preparo do solo sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado e retenção de umidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997. (CD-ROM)
- McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting them to sample estimates. *J. Soil Sci.*, Oxford, v.37, p.617-39, 1986.
- MIELNICZUCK, J.; SCHNEIDER, P. Aspectos sócio-econômicos do manejo de solos no Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DE SOLO DO PLANALTO, 3, 1984, Passo Fundo. *Anais...* Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 1984. p.3-27.
- NEHMI, I. M. D. *et al.* Feijão In: NEHMI, I. M. D. *et al.* *AGRIANUAL 2003: Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo: Argos, 2001. p.329-336. (AGRIANUAL, 2003)
- OLIVEIRA, G.C. *et al.* Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.28, n.2, p.327-336, 2004.
- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F. Variabilidade das características químicas e físicas em duas áreas homogêneas de oxissolo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14., 1974, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1974, p.359-376.
- PREVEDELLO, B.M.S. *Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta*. 1987. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.
- ROBERTSON, G. P. GS+: Geostatistics for the environmental sciences. Plainwell: Michigan, Gamma Design Software. 1998.
- SALVADOR, N.; GRANATO, L. R. N. Avaliação de diferentes sistemas de manejo de restos culturais sobre a compactação do solo cultivado com milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. *Anais...* Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1999. (CD-ROM).
- SCHLOTZHAVER, S.D.; LITTELL, R.C. *SAS: system for elementary statistical analysis*. 2.ed. Cary: SAS, 1997..
- SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality: complete samples. *Biometrika*, London, v.52, p.591-611, 1965.
- SORATTO, R. P. *Resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo da água e parcelamento da adubação nitrogenada*. 2002. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.
- SOUZA, Z.M. *et al.* Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Irriga*, Botucatu, v.9, n.1, 2004.
- SPIEGEL, M.R. *Estatística*. 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1985.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.15, p. 229-235, 1991.
- STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, DF, v.36. n.3, p. 473-481, 2001.

Received on August 05, 2004.

Accepted on February 01, 2005.