

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias
ISSN (on line): 1981-0997
v.6, n.3, p.521-530, jul.-set, 2011
Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br
Protocolo 1457 – 01/04/2011 *Aprovado em 23/05/2011
DOI:10.5039/agraria.v6i3a1457

Fernanda C. Basso^{1,4}

Marcelo Andreotti^{2,5}

Morel de P. e Carvalho²

Bruno N. Lodo¹

Rafael Montanari³

Correlação linear e espacial entre a produtividade e o teor de proteína bruta do guandu anão e os atributos de um Latossolo

RESUMO

Com o uso do sistema de plantio direto, os atributos físicos e químicos do solo são constantemente alterados, refletindo diretamente sobre a produtividade e a composição vegetal. Em 2006, no município de Selvíria (MS), foram analisadas as correlações lineares e espaciais entre os atributos da planta e os de um Latossolo Vermelho distroférrico. Objetivou-se selecionar entre os atributos do solo pesquisado aquele que melhor explicasse a variabilidade da produtividade agrícola. Para tanto, foi instalada a malha geoestatística para a coleta do solo e da planta em 124 pontos amostrais, numa área de 4.000 m². Nas amostras de solo, coletadas em três profundidades (0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m), foram determinados: microporosidade, macroporosidade, porosidade total, densidade do solo e teor de matéria orgânica. Na planta, foram determinadas a produtividade (massa fresca e seca) e o teor de proteína bruta. Do ponto de vista espacial, houve uma correlação direta entre a produtividade da massa seca e o teor de matéria orgânica do solo, assim como uma correlação inversa entre o teor de proteína bruta com a macroporosidade e com a porosidade total do solo. Assim, o teor superficial de matéria orgânica comportou-se como indicador da qualidade química do solo na estimativa da produtividade da massa seca do guandu anão nas condições da presente pesquisa.

Palavras-chave: densidade do solo, macroporosidade, matéria orgânica, microporosidade.

Linear and spatial correlation between *Cajanus cajan* L. yield and crude protein content and attributes of a Hapludox

ABSTRACT

With the use of no-till farming, the soil physical and chemical properties are constantly changed, directly reflecting on plant yield and composition. In 2006, in the municipality of Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brazil, the linear and spatial correlations between the plant attributes and the attributes of a Rhodic Hapludox were analyzed. The objective of this work was to select among the analyzed soil attributes the one that best explained the variability of agricultural yield. For this, the geostatistical grid was installed for the soil and plant collection in 124 sampling points in a 4,000 m² area. In the soil samples, collected at three depths (0-0.10 m, 0.20-0.30 m and 0.10-0.20 m), the microporosity, macroporosity, total porosity, bulk density and organic matter content were determined. In the plant, the yield (fresh and dry matter) and the crude protein content were determined. From the spatial viewpoint, there was a direct correlation between the dry matter yield and the soil organic matter content, as well as an inverse correlation between the crude protein content and the macroporosity and total porosity of soil. Therefore, the surface organic matter content behaved as a soil chemical quality indicator to estimate the dry matter yield of *Cajanus cajan* L. under the conditions of this research.

Key words: Bulk density, macroporosity, organic matter, microporosity.

¹ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, Av. Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP 14884-900, Jaboticabal-SP, Brasil. Fone: (16) 3209-2600. E-mail: fcarvalhobasso@yahoo.com.br; brunolodo@yahoo.com.br

² Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Departamento de Fitossanidade Engenharia Rural e Solos, Avenida Brasil, 56, Centro, CEP 15385-000, Ilha Solteira-SP, Brasil. Caixa Postal 31. Fone: (18) 3743-1143. E-mail: dreotti@agr.feis.unesp.br; morel@agr.feis.unesp.br

³ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Campus de Aquidauana, Rodovia Aquidauana/UEMS - Km 12, Rural, CEP 79200-000, Aquidauana-MS, Brasil. Fone: (67) 3904-2902. Fax: (67) 3904-2907. E-mail: rafamontana@hotmail.com

⁴ Bolsista de Doutorado da FAPESP

⁵ Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

INTRODUÇÃO

O guandu (*Cajanus cajan* L.) é considerado uma leguminosa de grande importância agrônômica em sistema plantio direto, não somente pela produção de grãos de alto valor protéico, como também pela produção de biomassa. É uma planta de ciclo curto, caracterizada como leguminosa fixadora de N_2 e conhecida como um descompactador biológico do solo. Apresenta também resistência à seca e tolerância à acidez do solo, sendo assim, cultivada em todo o Brasil, com uso na alimentação animal e humana, pelo alto teor de proteína bruta, ou como adubo verde e resteva em sistemas de produção agrícola (Xavier & Botrel, 2000).

Num programa de rotação de culturas em sistema plantio direto, é preponderante admitir que a produtividade agrícola seja influenciada pelos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Dentre as propriedades físicas, deve-se salientar que a densidade do solo possui estreita relação com outros atributos físicos, tais como a porosidade total, macroporosidade, microporosidade, condutividade hidráulica e a resistência à penetração, os quais são de suma importância para o desenvolvimento da planta (Kiehl, 1979; FOLONI et al., 2003; Mercante et al., 2003; Secco et al., 2005; Mello Filho et al., 2006; Mendes et al., 2006; Montanari et al., 2010, 2011).

Conforme Kochhann et al. (2000), a compactação do solo é entendida como o aumento da sua densidade, resultante da complexa interação entre os processos diretamente relacionados com a massa e o volume, sendo variável num mesmo tipo de solo, conforme sua estrutura e textura. A compactação tende a aumentar com a profundidade do perfil, sobretudo pela diminuição do teor de matéria orgânica do solo (MOS). Nos solos não compactados de textura arenosa, seus valores variam de 1,20 a 1,40 $kg\ dm^{-3}$, enquanto que nos solos de textura argilosa, a variação é de 1,00 a 1,25 $kg\ dm^{-3}$ (Kiehl, 1979; Camargo & Alleoni, 1997; Reichardt & Timm, 2004). Em relação à densidade do solo, valores em torno de 1,55 $kg\ dm^{-3}$ para solos franco-argilosos e argilosos, e de 1,85 $kg\ dm^{-3}$ para solos arenosos, podem afetar o crescimento das raízes e, conseqüentemente, a produtividade vegetal em função da compactação (Bowen, 1981).

Sabendo-se que os atributos do solo desempenham importante papel no desenvolvimento das plantas, a variabilidade espacial dos seus valores deve ser bem conhecida, visando minimizar os erros de amostragem e manejo, isto porque o solo apresenta heterogeneidade, tanto na vertical como na horizontal, e seus sistemas conservacionistas, como o plantio direto, criam um ambiente diferente daquele encontrado no sistema convencional, resultante dos efeitos dos resíduos vegetais superficiais e da reduzida movimentação do solo. Portanto, o mapeamento destes atributos numa área agrícola qualquer é de fundamental importância tanto na recomendação de práticas de manejo, como na avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental. Diversos estudos relataram que a variabilidade dos atributos físicos do solo apresenta correlação ou dependência espacial (Carvalho et al., 2002; Carvalho et al., 2003). Assim, a análise da variabilidade do solo pela geoestatística é uma ferramenta que pode auxiliar na tomada de decisão de práticas

de manejo que visem reduzir os efeitos dessa variabilidade sobre a produção das culturas (Tragmar et al., 1985).

A análise geoestatística avalia a variabilidade espacial dos atributos, mapeados a partir de estimativas efetuadas à variável estudada por meio da krigagem, ou a partir de estimativas de dois atributos que se correlacionem (primário e secundário) pela interpolação por co-krigagem. Eles podem ser descritos como técnicas que minimizam a variância estimada por meio de análise de regressão, levando-se em conta a dependência entre os dados distribuídos no espaço. Essas técnicas (krigagem e co-krigagem) são embasadas em estimadores de variáveis regionalizadas, envolvendo estimação de pontos, ou áreas, e assumindo-se que as amostras são normalmente distribuídas. Desta forma, são capazes de prever o comportamento do fenômeno em estudo (Trangmar et al., 1985). Assim, as interpolações por krigagem e co-krigagem estão fortemente associadas aos modelos dos semivariogramas ajustados, que podem ser avaliados por meio da validação cruzada, em que, no gráfico de valores estimados *versus* valores observados, são obtidos dados estatísticos básicos (coeficientes linear, angular e de correlação), com o objetivo de se aferir a qualidade do modelo escolhido para o semivariograma (Soares, 2000).

O objetivo neste trabalho foi estudar as correlações lineares e espaciais entre os atributos da planta de Guandu anão e de um Latossolo Vermelho distroférico do Cerrado brasileiro, visando identificar os atributos do solo que melhor se correlacionam com o aumento da produtividade agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FE/UNESP), localizada no município de Selvíria (MS), entre as latitudes de 20°18'05"S e 20°18'28"S e as longitudes de 52°39'02"W e 52°40'28"W. Sua precipitação média anual é de 1.300 mm, enquanto 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 é um Latossolo Vermelho distroférico típico argiloso, A moderado, hipodistroférico, álico, caulínítico, férrico, muito profundo (Typic Acrustox), com declive homogêneo de 0,025 $m\ m^{-1}$ (Embrapa, 2006). Sua vegetação natural é do tipo Cerrado, caracterizada por apresentar árvores de porte médio (3-5 m) e gramíneas na superfície. O solo no qual foi estabelecida a pesquisa vem sendo utilizado com a sucessão de culturas soja/sorgo forrageiro em sistema plantio direto há cinco anos, irrigado com pivô central.

Em julho de 2006 foram aplicadas 2 t de calcário dolomítico (PRNT=85%) sem incorporação (solo escarificado após cultivo de soja), sendo semeada a cultivar Aratá 43 de guandu anão (*Cajanus cajan* L.), em meados de agosto, após a dessecação das plantas daninhas com o herbicida glyphosate, na dose de 1,8 $kg\ ha^{-1}$ do i.a. O espaçamento entre linhas foi de 0,45 m, com uma densidade final de 20 plantas por metro na linha de semeadura.

Foram definidas as direções x e y do sistema de coordenadas cartesianas, entre dois terraços de base larga, com a cultura do guandu anão. O estaqueamento global da malha experimental foi realizado utilizando-se um nível óptico comum. Assim, o eixo x foi estabelecido em nível enquanto que o y ficou no sentido do declive. Tal malha ficou constituída com um total de 124 pontos amostrais, distribuídos numa área de 4000 m² (40 m x 100 m). O espaçamento utilizado entre os pontos amostrais, na grande malha, foi de 10 m. Foram alocadas por sorteio, dentro da grande malha, submalhas de refinamento, visando detalhar o estudo da dependência espacial dos atributos, para condições do espaçamento entre pontos menores do que 10 m. Cada submalha ficou posicionada entre quatro pontos da grande malha, constituindo-se de um ponto no seu centro e mais quatro estabelecidos no sentido dos eixos cartesianos (submalha de 5 m) e dois pontos entre cada par (submalha de 1,67 m).

Desta forma, as áreas úteis utilizadas na coleta de dados, tanto do solo quanto da planta, ficaram estabelecidas no entorno de cada ponto amostral. Para coleta da planta, na grande malha, utilizaram-se 4 linhas de semeadura do guandu anão (1,80 m de largura por 1,80 m de comprimento, no sentido da linha), totalizando 3,24 m². Nas malhas de refinamento, dispostas no eixo x , utilizaram-se três linhas de semeadura do guandu anão (1,35 m de largura por 1,35 m de comprimento, no sentido da linha), totalizando 1,82 m².

As amostras de solo e planta foram coletadas no entorno de cada um dos 124 pontos amostrais. A produtividade de massa fresca das plantas do guandu anão (GMF) foi obtida em função de amostras originadas no entorno do ponto amostral estaqueado (3,24 m² ou 1,82 m²). Após a secagem das plantas, realizada em estufa de circulação forçada de ar a 55°C, até massa constante, foi determinada a percentagem de matéria seca e posterior transformação dos dados em produtividade de matéria seca (GMS) em kg ha⁻¹. O teor de proteína bruta do guandu anão (GPB) foi estimado pelo teor de nitrogênio total obtido pelo método Kjeldahl, utilizando-se a fórmula: $PB = N \times 6,25$ (Silva & Queiroz, 2002).

Nas amostras de solo, coletadas em três profundidades (0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m), foram determinados: a) microporosidade (MI1, MI2, MI3), b) macroporosidade (MA1, MA2, MA3), c) porosidade total (PT1, PT2, PT3), d) densidade do solo (DS1, DS2, DS3) e teor de matéria orgânica (MO1, MO2, MO3). Tais amostras do solo foram originadas de monólitos com estrutura indeformada para a MI, MA, PT, e DS, ao passo que, para a MO, o foram com estrutura deformada. Desta forma, a DS foi determinada pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 1997), e os resultados foram expressos em kg dm⁻³. A MI, MA e PT foram determinadas pelo método da mesa de tensão (Embrapa, 1997), com resultados expressos em m³ m⁻³. A matéria orgânica foi calculada pela fórmula: $MO = C \times 1,724 \times 10$, em que MO e o C foram respectivamente os teores de matéria orgânica e de carbono orgânico do solo (g dm⁻³) sendo este determinado pelo método colorimétrico de combustão úmida (Raij et al., 1987). Todos foram obtidos após a colheita do guandu anão no estágio de florescimento pleno em meados de novembro de 2006.

Para cada atributo estudado, efetuou-se a análise estatística descritiva clássica dos dados, com o auxílio do software estatístico SAS (Schlotzhaver & Littell, 1997), em que foram calculados a média, mediana, valores mínimo e máximo, desvio-padrão, coeficiente de variação, coeficientes de curtose e assimetria e distribuição de frequência. Posteriormente, realizou-se a identificação dos *outliers*, efetuando-se a substituição dos seus valores pelo valor médio dos circunvizinhos contidos na malha. Para testar a hipótese de normalidade, ou de lognormalidade, realizou-se o teste de Shapiro-Wilk a 1 % de probabilidade. Também foi montada a matriz de correlação, objetivando-se efetuar as correlações lineares simples para as combinações, duas a duas, entre todos os atributos estudados. Assim, selecionaram-se aqueles de maior correlação linear e que, portanto, poderia ser ajustado o semivariograma cruzado, permitindo, conseqüentemente a interpolação dos dados pela co-krigagem. Isoladamente para cada atributo, foi analisada sua dependência espacial, pelo cálculo do semivariograma simples. Contudo, para aqueles que apresentaram interdependência espacial, calcularam-se também seus semivariogramas cruzados, com base nos pressupostos de estacionaridade da hipótese intrínseca, pelo uso do pacote Gamma Design Software (GS+, 2004).

Os ajustes dos semivariogramas simples e cruzados, em função de seus modelos, foram efetuados prioritariamente pela seleção inicial de: a) menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR); b) maior coeficiente de determinação espacial (r^2), e c) maior avaliador 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 co-krigagem, realizadas por meio da krigagem em blocos. Para cada atributo foram relacionados o efeito pepita (Co), o alcance (Ao) e o patamar (Co + C). A análise do avaliador da dependência espacial (ADE) foi efetuada conforme a expressão $ADE = [C/(C+Co)] \cdot 100$ (GS+ 2004), onde ADE é o avaliador da dependência espacial, C a variância estrutural e C+Co o patamar. A interpretação proposta para o ADE foi a seguinte: a) $ADE \leq 25\%$ (variável espacial fracamente dependente); b) $25\% < ADE \leq 75\%$ (variável espacial moderadamente dependente); e c) $ADE > 75\%$ (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 efetuarão, respectivamente, a krigagem e a co-krigagem. Na sua análise, cada ponto contido dentro do domínio espacial é removido individualmente, sendo seu valor estimado como se ele não existisse. Dessa forma, pode-se construir um gráfico de valores estimados versus observados, para todos os pontos. O coeficiente de correlação (r) entre tais valores reflete a eficiência do ajuste, dado pela técnica da soma dos quadrados dos desvios, representando a equação de regressão linear em questão. Um ajuste perfeito teria o coeficiente de regressão igual a 1 e a linha do melhor ajuste coincidiria com o modelo perfeito, isto é, com o coeficiente linear igual a zero e o angular igual a 1 (GS+, 2004). Assim, trabalhando-se na obtenção do número ideal de vizinhos, foram obtidos, por meio da

interpolação, os mapas de krigagem e de co-krigagem, para análise da dependência e da interdependência espacial entre os atributos, pelo uso do pacote Gamma Design Software (GS+, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Gomes (1984), a variabilidade de um atributo pode ser classificada segundo a magnitude de seu coeficiente de variação (CV), se o CV for $\leq 10\%$ é considerado baixo, $10\% < CV \leq 20\%$ - médio, $20\% < CV \leq 30\%$ - alto e $CV > 30\%$ - muito alto. Desta forma, tanto a produtividade de massa fresca (GMF) quanto a produtividade de massa seca (GMS) do guandu anão tiveram uma variabilidade muito alta, com valores de 42,87 e 37,49%, respectivamente. Entretanto, no teor de proteína bruta (PBG), foi de média variabilidade (14,40%) (Tabela 1).

Com relação à macroporosidade (MA), o CV foi classificado como muito alto nas duas primeiras camadas (0-0,10 e 0,10 – 0,20 m), e alto na MA3, caracterizando o efeito irregular do escarificador na descompactação da camada arável do solo (Tabela 1), em que, segundo Lima et al. (2007), valores de macroporosidade abaixo de 10% são limitantes para o desenvolvimento das raízes, fato que pode ser observado para as profundidades de 0-0,10 e 0,10 – 0,20 m, 7,8 e 6,7%, respectivamente. Tais resultados foram semelhantes aos encontrados por Souza et al. (2004a), que verificaram variabilidade muito alta na camada superficial (39,12%), e alta na inferior (26,35%). Para a microporosidade (MI), nas três profundidades foi verificado um baixo CV (4,30 - 8,70%), concordando com os dados obtidos por Carvalho et al. (2002) e Souza et al. (2004a), que também encontraram baixa variabilidade para esse atributo (4,25 - 8,26%). A porosidade total (PT) também apresentou baixa variabilidade, com CV entre 4,83 e 8,41%, nas três profundidades, com valores

Tabela 1. Análise descritiva inicial da produtividade de massa fresca e seca, do teor de proteína bruta do guandu anão e de alguns atributos de um Latossolo Vermelho distroférrico

Table 1. Initial descriptive analysis of fresh and dry matter yield, crude protein content of *Cajanus Cajan* and some attributes of a *Rhodic Hapludox*

Atributos ^(b)	Medidas estatísticas descritivas ^a									
	M	Med	Valores		DP	Coeficientes			Probabilidade do teste ^(c)	
			Min	Máx		CV (%)	Curt	Ass	Pr<w	DF
Atributos da planta										
GMF (kg ha ⁻¹)	24245	23152	8302	67662	10394	42,87	2,113	1,105	0,0001	IN
GMS (kg ha ⁻¹)	7334	6880	2062	15787	2750	37,49	0,450	0,662	0,0075	IN
PBG (%)	14,5	15,0	9,0	19,0	2,089	14,40	0,066	-0,295	0,0062	IN
Macroporosidade										
MA1 (m ³ m ⁻³)	0,147	0,140	0,022	0,278	0,059	40,24	-0,801	0,213	0,040	TN
MA2 (m ³ m ⁻³)	0,078	0,072	0,037	0,180	0,028	36,26	1,819	1,294	0,0001	IN
MA3 (m ³ m ⁻³)	0,067	0,063	0,037	0,124	0,016	24,49	0,879	0,901	0,0001	IN
Microporosidade										
MI1 (m ³ m ⁻³)	0,334	0,332	0,278	0,428	0,029	8,70	-0,545	0,271	0,1345	NO
MI2 (m ³ m ⁻³)	0,345	0,344	0,304	0,391	0,015	4,30	0,878	0,362	0,005	IN
MI3 (m ³ m ⁻³)	0,357	0,357	0,285	0,416	0,017	4,80	3,174	-0,046	0,005	IN
Porosidade total										
PT1 (m ³ m ⁻³)	0,481	0,477	0,384	0,574	0,040	8,41	-0,455	-0,070	0,3919	NO
PT2 (m ³ m ⁻³)	0,425	0,421	0,374	0,528	0,029	6,83	1,586	1,082	0,0001	IN
PT3 (m ³ m ⁻³)	0,425	0,423	0,382	0,501	0,021	4,83	1,619	0,931	0,0002	IN
Densidade do solo										
DS1 (kg dm ⁻³)	1,314	1,314	1,048	1,611	0,113	8,60	-0,422	0,092	0,8633	NO
DS2 (kg dm ⁻³)	1,487	1,503	1,218	1,650	0,080	5,38	0,713	-0,758	0,0011	IN
DS3 (kg dm ⁻³)	1,477	1,481	1,248	1,660	0,062	4,21	1,559	-0,0535	0,013	IN
Matéria orgânica do solo										
MO1 (g dm ⁻³)	17,9	18,0	4,0	32,0	5,237	29,30	0,170	0,281	0,0524	NO
MO2 (g dm ⁻³)	14,0	13,0	2,0	59,0	5,060	36,07	0,482	0,651	0,0032	IN
MO3 (g dm ⁻³)	11,7	11,0	2,0	24,0	4,697	40,00	0,060	0,540	0,0027	IN

^a M: média; Med: mediana; Min: mínimo; Máx: máximo; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Curt: curtose; Ass: assimetria.

^b GMF: produtividade de massa fresca do guandu anão, GMS: produtividade de massa seca do guandu anão, GPB: teor de proteína bruta do guandu anão e MA, MI, PT, DS e MO (1: 0-0,10 m; 2: 0,10-0,20 m e 3: 0,20-0,30 m) são, respectivamente, a macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade global e o teor de matéria orgânica em profundidades do solo.

^c DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN, e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal, e indeterminado.

semelhantes aos de 5,37 a 7,71%, apresentados por Souza et al. (2001), assim como aos de 4,12 a 6,83% (Carvalho et al., 2002).

Em relação à densidade do solo, esta também apresentou baixa variabilidade, com CV entre 4,21 e 8,60% nas três profundidades, ficando na mesma ordem de grandeza que aqueles observados por Souza et al. (2001; 2004a, 2004b) e Carvalho et al. (2002), os quais variaram entre 4,82 e 9,07%.

Finalmente, o teor de matéria orgânica (MO) apresentou alta variabilidade na camada superficial (29,3%), concordando esse resultado com Carvalho et al. (2003), os quais obtiveram o valor de 26,63%. Já nas duas camadas mais profundas, o CV indicou variabilidade muito alta, com valores de 36,07 e 40,00%, respectivamente para MO2 e MO3, discordando de Montanari et al. (2011) que encontraram média variabilidade para MO1 (19,1%) e MO2 (16,5%), quando estudaram o teor de matéria orgânica na cultura da soja em plantio direto.

A respeito da produtividade do guandu anão, as médias da GMF e GMS (Tabela 1) foram de 24.245 e 7.334 kg ha⁻¹, respectivamente, ficando tais valores superiores àqueles preconizados por Calegari (1998). Com relação aos teores da PBG, a média foi de 145 g kg⁻¹, superior ao encontrado por Nascimento & Silva (2004).

Os valores da macroporosidade em profundidade foram respectivamente de 0,147; 0,078 e 0,067 m³ m⁻³. Da mesma forma, em relação à microporosidade, seus valores médios foram de 0,334; 0,345 e 0,357 m³ m⁻³, ficando tal magnitude semelhante às obtidas por Souza et al. (2001, 2004a) e Carvalho et al. (2002) em solos argilosos, e de forma similar a do presente trabalho. A porosidade total apresentou valores médios de 0,481 (PT1) a 0,425 m³ m⁻³ (PT3), ou seja, decrescente com o aumento da profundidade, ficando neste caso próxima àquela de Carvalho et al. (2002). Por outro lado, o menor valor da densidade média, observado na camada superficial, provavelmente foi devido: a) à escarificação superficial do solo efetuada antes da semeadura do guandu, b) ao maior teor de matéria orgânica, e c) à presença das raízes do guandu. Com relação à matéria orgânica, foram verificados baixos e decrescentes valores em profundidade (17,9 a 11,7 g dm⁻³), podendo este fato estar relacionado à escarificação realizada na área experimental e a baixa relação C/N da cultura da soja antecedente, portanto, de baixa produção de palha e de rápida decomposição em condições de cerrado.

A análise da Tabela 2 permitiu verificar alta correlação positiva e significativa ($r = 0,901^{**}$) entre as variáveis GMF e GMS. Tal fato, embora seja óbvio, evidenciou que ocorrendo aumento da produtividade da massa fresca do guandu anão, haverá o mesmo com sua massa seca, cuja equação de melhor ajuste foi a potencial ($r^2 = 0,869^{**}$), apresentada na Tabela 3. Portanto, nestas condições, 86,9% da variabilidade da GMS pôde ser explicada pela da GMF, podendo tal equação, desta forma, simplificar e auxiliar sobremaneira trabalhos afins.

Também foram constatadas correlações significativas entre atributos da planta e do solo (Tabelas 2 e 3), sendo baixa e positiva ($r = 0,197^*$) para o par GMS versus MO1. Já em relação à PBG, verificou-se correlação negativa e significativa com a MA2 (exponencial) e a PT1 (linear), com os respectivos

coeficientes de determinação de 0,045* e 0,035*. Os baixos valores dos coeficientes de correlação foram devidos tanto em virtude do elevado número de pontos avaliados ($n=124$), quanto ao efeito aditivo que cada atributo do solo possui sobre a produtividade do guandu.

Com relação aos atributos do solo (Tabela 2), embora com vários pares significativos, os de maior interesse agrônomo foram os da primeira camada (zero a 0,10 m). Dessa forma, na Tabela 3, estão apresentados os modelos ajustados para os pares MA1 versus DS1 ($r^2 = 0,783^{**}$), MII versus DS1 ($r^2 = 0,405^{**}$), PT1 versus DS1 ($r^2 = 0,741^{**}$), PT1 versus MA1 ($r^2 = 0,797^{**}$), PT1 versus MII ($r^2 = 0,357^{**}$) e MA1 versus MII ($r^2 = 0,697^{**}$). De modo geral, avaliando-se a compactação do solo nesta camada superficial, com o aumento significativo da DS1, houve correlação positiva e, portanto, um incremento da MII. Entretanto, estes atributos apresentaram correlações significativas e inversas (negativas) com a PT1 e a MA1, ou seja, com o aumento da compactação, estimada via DS1 e MII, houve uma esperada redução tanto da MA quanto da PT do solo em superfície. Assim, na medida em que ocorreu aumento da densidade e da microporosidade, a compactação do solo resultou na redução da porosidade total, com maior influência sobre a redução da macroporosidade, conforme preconizado por Kiehl (1979). O par PT1 versus MA1 apresentou alta correlação direta ($r^2 = 0,797^{**}$). Portanto, nestas condições, a variabilidade da PT1 em questão pôde ser explicada por 79,7% da variação dos dados da MA1. Assim, tal equação simplificaria e auxiliaria sobremaneira trabalhos afins, quando fosse necessário efetuar estimativas da porosidade total da camada de 0,0 a 0,10 m do solo estudado.

A análise geoestatística evidenciou que somente o GMF, GMS, PBG, PT1, DS1 e MO1 apresentaram dependência espacial (Tabela 4 e Figura 1). Assim, tanto os valores dos atributos da planta quanto os do solo evidenciaram que suas distribuições no espaço não foram aleatórias. Isto porque suas classes de dependência espacial, segundo Cambardella et al. (1994), e avaliadas pelo ADE do GS⁺ (2004), variaram entre 50,0 (PBG e MO1) e 74,6% (GMS), consideradas como de moderada dependência. Portanto, no presente estudo (Tabela 4), pôde-se constatar que 53,8% da variação total da GMF e 74,6% da GMS do guandu anão foram explicadas pela dependência espacial. Por outro lado, os efeitos atribuídos ao acaso, referentes ao efeito pepita da GMF e da GMS, foram respectivamente de 46,2 e 25,4%. Para todos os atributos estudados, os modelos ajustados foram o esférico, exponencial e o gaussiano, enquanto que Carvalho et al. (2002) verificaram apenas o modelo gaussiano, assim como Souza et al. (2001), Corá et al. (2004), Santos et al. (2005), Veronese Júnior et al. (2006) e Montanari et al. (2010, 2011) constataram os modelos esférico e exponencial para os atributos em questão.

Com relação ao alcance da dependência espacial (Tabela 4), o GMF e o GMS apresentaram-no respectivamente com os valores de 55,7 e 29,7 m. Para o PBG verificou-se o alcance de 51,8 m, ao passo que, para os atributos do solo, foram de 23,7 (PT1), 11,5 (DS1) e 48,9 m (MO1). Assim, tais alcances, no geral, ficaram com magnitudes muito semelhantes às de Souza et al. (2001, 2004a).

Tabela 2. Matriz de correlação linear simples entre a produtividade de forragem do guandu anão e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico

Table 2. Simple linear correlation matrix between Cajanus cajan forage yield and physical attributes of a Rhodic Hapludox

Atributos	Coeficientes de correlação (r)																
	GMF	GMS	GPB	MO1	MO2	MO3	MA1	MA2	MA3	MI1	MI2	MI3	PT1	PT2	PT3	DS1	DS2
GMS	0,901**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GPB	-0,071 ^{ns}	-0,113 ^{ns}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MO1	0,122 ^{ns}	0,197*	-0,137 ^{ns}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MO2	0,113 ^{ns}	0,131 ^{ns}	-0,058 ^{ns}	0,160 ^{ns}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MO3	0,078 ^{ns}	0,110 ^{ns}	-0,088 ^{ns}	0,185*	0,415**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MA1	-0,037 ^{ns}	-0,055 ^{ns}	-0,155 ^{ns}	0,031 ^{ns}	0,130*	-0,101 ^{ns}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MA2	0,019 ^{ns}	0,058 ^{ns}	-0,208*	0,113 ^{ns}	-0,076 ^{ns}	-0,066 ^{ns}	0,266**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MA3	0,107 ^{ns}	0,091 ^{ns}	-0,017 ^{ns}	0,005 ^{ns}	-0,034 ^{ns}	0,092 ^{ns}	0,112 ^{ns}	0,211*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MI1	0,085 ^{ns}	0,088 ^{ns}	0,056 ^{ns}	0,049 ^{ns}	-0,050 ^{ns}	0,127 ^{ns}	-0,782**	-0,173 ^{ns}	-0,208*	-	-	-	-	-	-	-	-
MI2	0,124 ^{ns}	0,107 ^{ns}	0,083 ^{ns}	0,045 ^{ns}	-0,023 ^{ns}	-0,082 ^{ns}	-0,312**	-0,253**	0,546**	-	-	-	-	-	-	-	-
MI3	0,061 ^{ns}	0,049 ^{ns}	-0,064 ^{ns}	0,221*	-0,115 ^{ns}	-0,159 ^{ns}	0,017 ^{ns}	0,070 ^{ns}	-0,279**	0,234**	0,418**	-	-	-	-	-	-
PT1	0,008 ^{ns}	-0,017 ^{ns}	-0,187*	0,081 ^{ns}	0,155*	-0,055 ^{ns}	0,893**	0,264**	0,013 ^{ns}	-0,419**	-0,061 ^{ns}	0,194*	-	-	-	-	-
PT2	0,044 ^{ns}	0,071 ^{ns}	-0,082 ^{ns}	0,158 ^{ns}	-0,114 ^{ns}	-0,079 ^{ns}	0,198*	0,773**	0,199*	0,010 ^{ns}	0,069 ^{ns}	0,199*	0,296**	-	-	-	-
PT3	0,171 ^{ns}	0,161 ^{ns}	-0,079 ^{ns}	0,183*	-0,143 ^{ns}	0,067 ^{ns}	0,059 ^{ns}	0,188*	0,571**	0,012 ^{ns}	0,039 ^{ns}	0,386**	0,094 ^{ns}	0,234**	-	-	-
DS1	0,043 ^{ns}	0,025 ^{ns}	0,101 ^{ns}	-0,063 ^{ns}	-0,127 ^{ns}	0,118 ^{ns}	-0,880**	-0,190*	0,023 ^{ns}	0,590**	0,090 ^{ns}	-0,142 ^{ns}	-0,859**	-0,200*	0,003 ^{ns}	-	-
DS2	-0,041 ^{ns}	-0,084 ^{ns}	0,039 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,083 ^{ns}	0,052 ^{ns}	-0,163 ^{ns}	-0,743**	-0,126 ^{ns}	0,025 ^{ns}	0,130 ^{ns}	-0,148 ^{ns}	-0,219*	-0,642**	-0,138 ^{ns}	0,222*	-
DS3	-0,111 ^{ns}	-0,114 ^{ns}	-0,092 ^{ns}	0,178*	0,066 ^{ns}	0,109 ^{ns}	0,026 ^{ns}	-0,137 ^{ns}	-0,503**	0,075 ^{ns}	0,088 ^{ns}	0,136 ^{ns}	0,092 ^{ns}	-0,076 ^{ns}	-0,473**	-0,057 ^{ns}	0,105 ^{ns}

* GMF: produtividade de massa fresca do guandu anão, GMS: produtividade de massa seca do guandu anão, GPB: teor de proteína bruta do guandu anão e MA, MI, PT, DS e MO (1: 0-0,10 m; 2: 0,10-0,20 m e 3: 0,20-0,30 m), são respectivamente a macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade global e o teor de matéria orgânica em profundidades do solo.

^b * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Tabela 3. Equações de regressão de algumas correlações estatisticamente significativas entre atributos do solo e da planta**Table 3.** Regression equations of some statistically significant correlations between soil and plant properties

Modelo ajustado	Coeficiente do ajuste				Coeficiente de correlação (r)	Coeficiente de determinação (r ²)
	a	b	c			
GMS = a.GMF ^b	1,363	8,51.10 ^{-1**}	-		0,932**	0,869**
GMS = a + b.MO1	5,454.10 ³	1,04.10 ^{2*}	-		0,197*	0,039*
PBG = a.exp ^{bMA2}	1,564.10 ¹	-1,15*	-		-0,211*	0,045*
PBG = a + b.PT1	1,914.10 ¹	-9,73*	-		-0,187*	0,035*
MA1 = a + b.DS1 + c.DS1 ²	1,308	-1,31**	3,247.10 ^{-1*}		-	0,783**
MI1 = a + b.DS1 + c.DS1 ²	-6,219.10 ⁻¹	1,31**	-4,38.10 ^{-1**}		-	0,405**
PT1 = a.exp ^{bDS1}	1,117	-6,45.10 ^{-1**}	-		-0,861**	0,741**
PT1 = a + b.MA1	3,907.10 ⁻¹	6,12.10 ^{-1**}	-		0,893**	0,797**
PT1 = a + b.MI1 + c.MI1 ²	2,648	-1,24.10 ^{1**}	1,742.10 ^{1**}		-	0,357**
MA1 = a + b.MI1 + c.MI1 ²	2,644	-1,33.10 ^{1**}	1,739.10 ^{1**}		-	0,697**

Tabela 4. Parâmetros dos semivariogramas ajustados para a produtividade e o teor de proteína bruta do guandu anão e para alguns atributos de um Latossolo Vermelho distroférrico**Table 4.** Semivariogram parameters adjusted for yield and crude protein content of *Cajanus cajan* and some attributes of a Rhodic Hapludox

Atributo (a)	Modelo (b)	Parâmetros							Classe de dependência espacial
		Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ +C)	Variância Estrutural (C)	Alcance (m) (A ₀)	r ²	SQR (c)	ADE (d)	
$\gamma(h)$ dos atributos da planta									
GMF (kg ha ⁻¹)	esf.	58,5.10 ⁶	126,5.10 ⁶	68,0.10 ⁶	55,7	0,649	4,5.10 ¹⁵	53,8	moderada
GMS (kg ha ⁻¹)	exp.	17,8.10 ⁵	70,0.10 ⁵	52,3.10 ⁵	29,7	0,591	7,5.10 ⁻¹	74,6	moderada
PBG (%)	gau.	1,8	3,6	1,8	51,8	0,937	2,5.10 ⁻¹	50,0	moderada
$\gamma(h)$ da porosidade total									
PT1 (m ³ m ⁻³)	exp.	5,2.10 ⁻⁴	13,3.10 ⁻⁴	8,2.10 ⁻⁴	23,7	0,778	1,3.10 ⁻⁷	61,3	moderada
$\gamma(h)$ da densidade do solo									
DS1 (kg dm ⁻³)	esf.	4,5.10 ⁻³	10,4.10 ⁻³	5,9.10 ⁻³	11,5	0,812	4,1.10 ⁻⁶	57,2	moderada
$\gamma(h)$ da matéria orgânica do solo									
MO1 (g dm ⁻³)	exp.	11,2	22,3	11,2	48,9	0,629	6,5.10 ¹	50,0	moderada
$\gamma(h)$ das co-krigagens									
GMF = f(MO1)	gau.	10,0	5,28.10 ³	5,27.10 ³	24,6	0,635	2,2.10 ⁷	99,8	alta
GMS = f(MO1)	gau.	5,6.10 ²	2,80.10 ³	5,24.10 ³	19,0	0,700	2,6.10 ⁶	79,7	moderada

^a GMF: produtividade de massa fresca do guandu anão, GMS: produtividade de massa seca do guandu anão, GPB: teor de proteína bruta do guandu anão e PT1, DS1 e MO1, são respectivamente a, porosidade total, densidade global e o teor de matéria orgânica na camada de 0,0 a 0,10 m do solo

^b exp. = exponencial, gau. = gaussiano, e esf. = esférico

^c SQR = soma dos quadrados dos resíduos

^d ADE = avaliador da dependência espacial

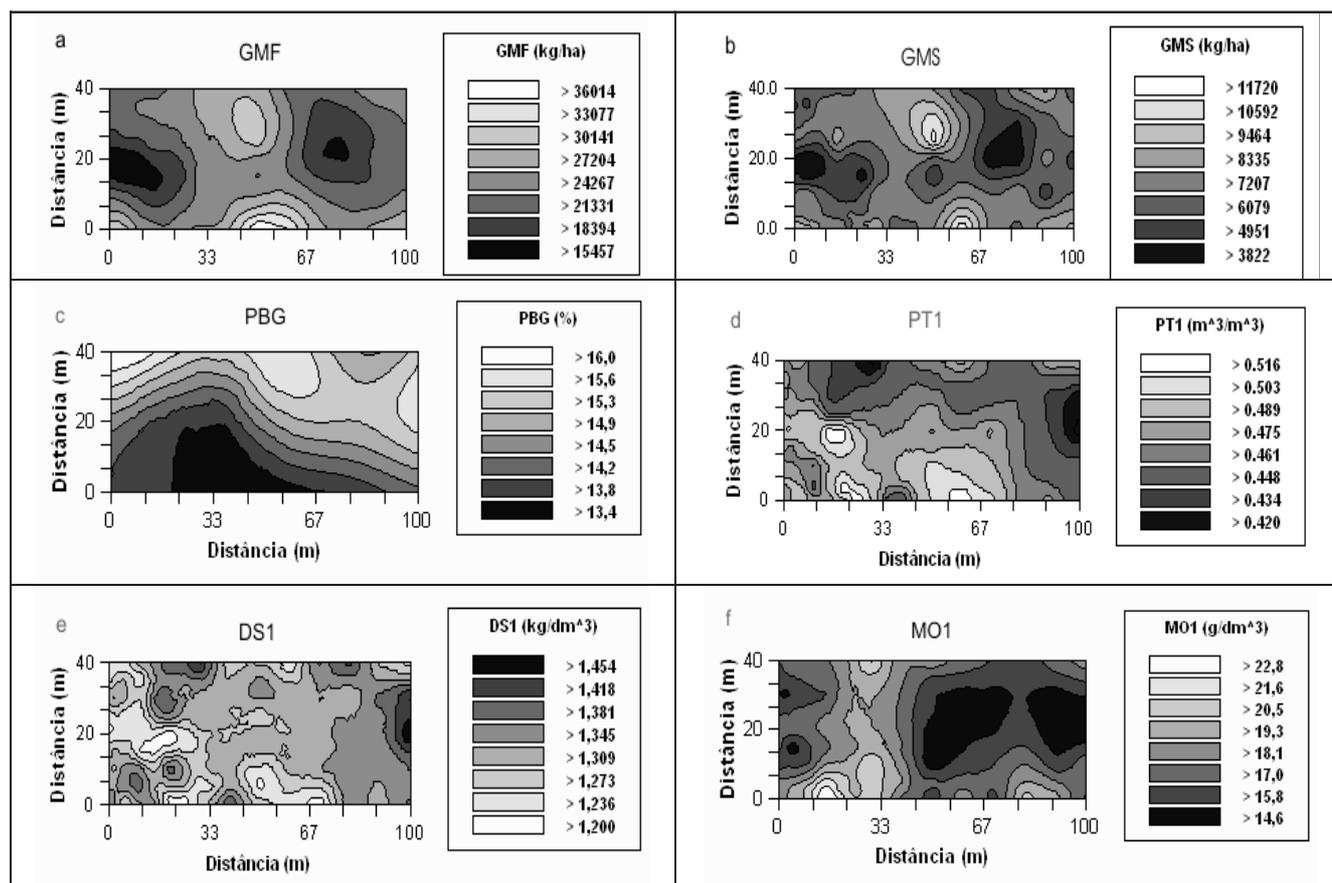


Figura 1. Mapas de krigagem simples de alguns atributos da produtividade e teor de proteína bruta do guandu anão e alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico.

Figure 1. Simple kriging maps of some attributes of yield and crude protein content of *Cajanus cajan* and some attributes of a Rhodic Hapludox.

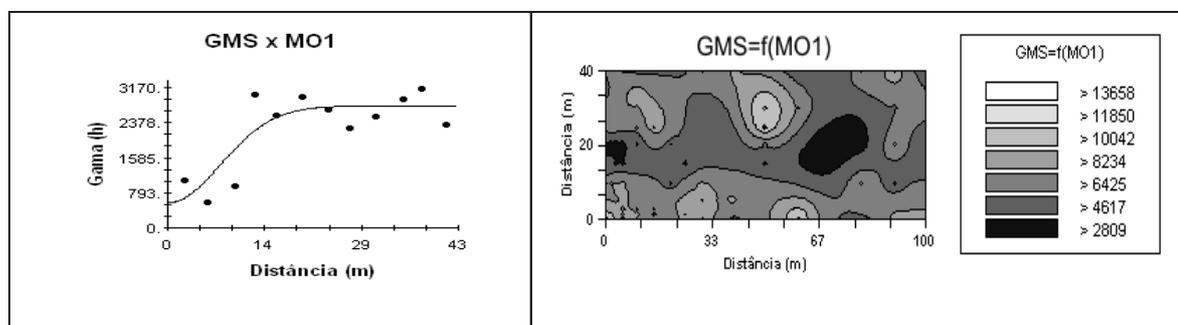


Figura 2. Semivariograma cruzado e mapa de co-krigagem da produtividade de massa seca do guandu anão (GMS) em função da matéria orgânica na primeira camada (MO1) de um Latossolo Vermelho Distroférico.

Figure 2. Cross semivariogram and co-kriging map of dry matter yield of *Cjanus cajan* (GMS) as a function of the organic matter on the first layer (MO1) of a Rhodic Hapludox.

Houve relação espacial direta entre os atributos da planta (GMF versus GMS), os quais se apresentaram também com elevada correlação linear simples e positiva ($r=0,901^{**}$) (Figura 1). Tal relação, portanto, ficou caracterizada pela concordância espacial, isto é, nos sítios onde a GMF aumentou, ocorreu o mesmo com a GMS, e vice-versa. No entanto, na análise dos mapas de krigagem simples entre os atributos da planta com os do solo, pôde-se verificar que o MO1 foi o único atributo do solo a apresentar elevada semelhança espacial direta tanto para a GMF como para a GMS (Tabela 4 e Figura 2). Contudo, o único par a apresentar co-krigagem foi o $GMS=f(MO1)$, tido com o melhor ajuste por, além de apresentar todos os pares de lags num único quadrante, também apresentar o maior coeficiente de determinação ($R^2=0,700^{**}$). Desta forma, ficou evidente que 70% da variabilidade espacial da GMS pôde ser explicada pela variabilidade espacial da MO1. Uma vez que significativos coeficientes de determinação entre tais atributos [$GMS = f(MO1)$] foram constatados na presente pesquisa, sugere-se ser o MO1 candidato à indicação da qualidade química do solo pesquisado, para a estimativa da produtividade de massa seca do guandu anão.

A análise da Figura 1 evidenciou que: a) nos locais onde a MO1 (Figura 1f) variou entre 14,6 e 18,1 g dm⁻³, isto é, nas regiões L (à direita) e W (à esquerda), a GMS (Fig. 1b) do guandu anão ficou entre 3822 e 7207 kg ha⁻¹; e b) nos locais onde a MO1 (Fig. 1f) variou entre 19,3 e 22,2 g dm⁻³ ($x=11$ m; $y=0$ m até $x=44$ m; $y=0$ m, assim como, $x=22$ m; $y=40$ m até $x=35$ m; $y=40$ m) a GMS (Fig. 1b) do guandu anão ficou entre 8335 e 11720 kg ha⁻¹. Portanto, nos sítios onde a MO1 aumentou houve incremento da GMS, enquanto que naqueles onde diminuiu, ocorreu decréscimo da GMS, ou seja, atestou-se a veracidade da MO1 como o referido indicador.

CONCLUSÕES

A produtividade de massa fresca e seca e o teor de proteína bruta, bem como a porosidade total, densidade e teor de MO do solo na camada superficial, não variaram aleatoriamente e seguiram padrões espaciais bem definidos

Houve correlação linear e espacial dos atributos relacionados à produtividade do guandu anão. Por outro lado, as correlações lineares entre os atributos da planta e os do solo, no geral, foram baixas, entretanto, significativas.

O teor de matéria orgânica da camada superficial comportou-se como um indicador da qualidade química do solo pesquisado para a estimativa da produtividade de massa seca do guandu anão.

LITERATURA CITADA

Bowen, H.D. Alleviating mechanical impedance. In: Arkin, G.F.; Taylor, H.M. (Eds.). *Modifying the root environment to reduce crop stress*. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1981. p.21-57.

- Calegari, A. Espécies para cobertura do solo. In: Darot, M.R. (Coord.). *Plantio direto: pequena propriedade sustentável*. Londrina: IAPAR, 1998. p.65-94. (Circular, 101).
- 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 soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- Carvalho, M.P.; Soratto, R.P.; Freddi, O.S. Variabilidade espacial dos atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distroférico sob preparo convencional em Selvíria (MS). *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.24, n.1, p.1353-1361, 2002.
- Carvalho, M.P.; Takeda, E.Y.; Freddi, O.S. Variabilidade espacial dos atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.4, p.695-703, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000400014>
- Corá, J.E.; Araujo, A.V.; Pereira, G.T.; Beraldo, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000600010>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Brasília, 1997. 212p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306p.
- Foloni, J.S.S.; Calonego, J.C.; Lima, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, n.8, p.947-953, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2003000800007>
- Gomes, F.P.A. *Estatística moderna na pesquisa agropecuária*. Piracicaba: POTAFÓS, 1984. 160p.
- GS+: *Geostatistics for environmental sciences*. 7.ed. Michigan, Plainwell: Gamma Design Software, 2004. 159p.
- Kiehl, E.J. *Manual de edafologia: relações solo-planta*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 1979. 264p.
- Kochhann, R.A.; Denardin, J.E.; Berton, A.L. *Compactação e descompactação de solos*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 20p.
- Lima, C.G.R.; Carvalho, M.P.; Mello, L.M.M.; Lima, R.C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e densidade do solo de Pereira Barreto (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.6, p.1233 -1244, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600001>
- Mello Filho, J.F.; Oliveira, A.S.; Lopes, L.C.; Vellame, L.M. Análise estatística exploratória e variabilidade da densidade do solo em um perfil de Latossolo Amarelo coeso dos tabuleiros costeiros da Bahia. *Ciência e Agrotecnologia*, v.30, n.2, p.199-205, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542006000200002>
- Mendes, F.G.; Melloni, E.G.; Melloni, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. *Cerne*, v.12, n.3, p.211-220, 2006.
- Mercante, E.; Uribe-Opazo, M.A.; Souza, E.G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à

- penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.6, p.1149-1159, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000600019>
- 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*, v.34, n.6, p.1811-1822, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000600005>
- Montanari, R.; Lima, R.C.; Bonini, A.S.; Marques, L.S.; Minguini, R.; Carvalho, M.P.; Paz Ferreiro, J.; Costa, N.R. Variabilidade dos atributos de um latossolo vermelho sob plantio direto no cerrado brasileiro e produtividade da soja. *Revista Cadernos*, v.36, n.2, p.221-239, 2011.
- Nascimento, J.T.; Silva, I.F. Avaliação quantitativa e qualitativa da fitomassa de leguminosas como uso de cobertura de solo. *Ciência Rural*, v.34, n.3, p.947-949, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000300047>
- Rajj, B. Van; Quaggio, J.A.; Cantarella, H.; Ferreira, M.E.; Lopes, A.S.; Bataglia, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.
- Reichardt, K.; Timm, L.C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478p.
- Santos, P.A.; Carvalho, M.P.; Freddi, O.S.; Kitamura, A.E.; Freitag, E.E.; Vanzela, L.S. Correlação linear e espacial entre o rendimento de grãos do feijoeiro e a resistência mecânica à penetração em um Latossolo Vermelho Distroférico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.2, p.287-295, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000200014>
- Schlotzhaver, S.D.; Littell, R.C. SAS: system for elementary statistical analysis. 2.ed. Cary: SAS, 1997. 441p.
- Secco, D.; Da Ros, C.O.; Secco, J.K.; Fiorin, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.3, p.407-414, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000300011>
- Silva, D.J.; Queiroz, A.C. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. Viçosa: UFV, 2002. 235p.
- Soares, A. Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2000. 209p.
- Souza, Z.M.; Marques Jr., J.; Pereira, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.6, p.937-944, 2004b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000600001>
- Souza, Z.M.; Marques Jr, J.; Pereira, G.T.; Bento, M.J.C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, n.1, p.51-58, 2004a. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000100008>
- 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 de um Latossolo Vermelho Distroférico sob semeadura direta em Selvíria (MS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.3, p.699-707, 2001.
- Trangmar, B.B.; Yost, R.S.; Uehara, G. Application of geostatistics to spatial studies of properties. *Advanced in Agronomy*, v.38, p.45-94, 1985. [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60673-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60673-2)
- Veronese Júnior, V.; Carvalho, M.P.; Dafonte, J.; Freddi, O.S.; Vidal Vazquez, E.; Ingaramo, O.E. Spatial variability of soil water content and mechanical resistance of Brazilian ferralsol. *Soil and Tillage Research*, v.85, n.2, p.166-177, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2005.01.018>
- Xavier, D.F.; Botrel, M.A. Principais características da leucena, do guandu e da cratília. Embrapa Gado de Leite. <http://www.cnpqgl.embrapa.br>. 15 Jan. 2007.