

## Variabilidade Espacial da Resistência do Solo a Penetração e Umidade em Área de Campo Natural na Região Sul do Amazonas<sup>1</sup>

**Bruno Campos Mantovanelli<sup>2</sup>; Milton César Costa Campos<sup>3</sup>; Leandro Coutinho Alho<sup>4</sup>; Mailson Ferreira Nascimento<sup>5</sup>; Douglas Marcelo Pinheiro da Silva<sup>6</sup>.**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM; <sup>(2)</sup> Acadêmico em Agronomia do IEAA/UFAM-AM. e-mail: brunomantovanelli21@gmail.com; <sup>(3)</sup> Professor Adjunto II, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, e-mail mcesarsolos@gmail.com; <sup>(4)</sup> Lic. Ciências Agrárias, Mestrando em Agronomia Tropical, Universidade Federal do Amazonas – Manaus. e-mail leandro\_alho@yahoo.com.; <sup>(5)</sup> Acadêmico em Agronomia do IEAA/UFAM-AM. e-mail mailson@gmail.com; <sup>(6)</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando em Agronomia Tropical, Universidade Federal do Amazonas – Manaus. e-mail: douglasmrcecelo@gmail.com.

**RESUMO:** O conhecimento do comportamento dos atributos físicos do solo torna-se uma premissa básica quando se pretende estabelecer práticas de manejo adequadas de solo e de culturas. O presente estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial da resistência do solo a penetração e umidade em área de campo natural na região Sul do Amazonas. Foi realizado o mapeamento de uma área de campo natural, nesta área foi estabelecida uma malha de 70 m x 70 m com espaçamentos regulares de 10 em 10 metros, perfazendo um total de 64 pontos amostrais sendo coletadas amostras indeformadas de solo nas profundidades 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m, totalizando 128 amostras. A resistência do solo à penetração foi determinada em laboratório nas amostras coletadas com os cilindros volumétricos, utilizando um penetrômetro eletrônico modelo MA-933, marca Marconi, com velocidade constante de 0,1667 mm s<sup>-1</sup>. A determinação da umidade foi obtida pela diferença entre a massa do solo úmido e a massa do solo seco em estufa a 105°C durante 24 horas. Todas as variáveis foram analisadas por meio de estatística descritiva e geoestatística. Observou-se que os atributos analisados apresentaram estrutura de dependência espacial nas duas profundidades analisadas.

**Termos de indexação:** compactação; dependência espacial; Humaitá.

### INTRODUÇÃO

A compactação é uma alteração estrutural que promove reorganização das partículas e de seus agregados podendo limitar a adsorção, as trocas gasosas, absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, atraso na emergência das plântulas e comprometimento do desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea, resultando em decréscimos na produtividade das culturas (Modolo et al. 2008).

O atributo físico adotado como indicativo da compactação tem sido a resistência do solo à

penetração (RP), por apresentar relações diretas com o desenvolvimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (Silva et al. 2003). A RP é influenciada pelo teor de água, textura e pela condição estrutural do solo, fatores que estabelecem valores críticos do crescimento radicular e desenvolvimento das plantas (Beutler et al. 2007).

Dada uma determinada condição estrutural, a umidade do solo é o principal fator que estabelecerá o momento em que a resistência do solo irá tornar-se limitante às plantas, no entanto isso depende das condições climáticas no período, por este motivo, uma determinada condição pode se tornar restritiva ao crescimento das plantas, dependendo do conteúdo de água no solo e do período fenológico em que a planta se encontra (Kaiser et al. 2009).

Ao analisar dados de atributos de solo mediante os métodos estatísticos clássicos são ignoradas as consequências da heterogeneidade espacial sobre a representatividade dos valores médios de amostras. No entanto, os métodos geoestatísticos (análise de semivariogramas e krigagem) estão sendo utilizados para analisar tanto a dependência espacial como para interpolar atributos de solo através da krigagem (Souza et al. 2004).

Este procedimento permite determinar se um atributo apresenta ou não estrutura espacial e, uma vez conhecido o modelo da dependência espacial, é possível mapear a área estudada. Diversos estudos demonstram que a variabilidade da resistência do solo à penetração e o teor de água no solo não ocorrem ao acaso, mas apresentam correlação ou dependência espacial (Abreu et al. 2003; Mercante et al. 2003).

O presente estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial da resistência do solo a penetração e umidade em área de campo natural na região Sul do Amazonas.

### MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na região de Humaitá, sul do Estado do Amazonas, estando situada sob as coordenadas geográficas de 7° 30' 24"S e 63° 04' 56" W. A região apresenta relevo aproximado ao do tipo "tabuleiro", com desníveis muito pequenos e, bordos ligeiramente abaulados (Braun & Ramos, 1959). O clima segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso (chuvas do tipo monção), apresentando um período seco de pequena duração (Am), temperaturas variando entre 25 e 27 °C e precipitação média anual de 2.500 mm, com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho e umidade relativa do ar entre 85 e 90% (Brasil, 1978).

Foi realizado o mapeamento de uma área de campo natural, nesta área foi estabelecida uma malha de 70 m x 70 m, com pontos espaçados a cada 10 m perfazendo um total de 64 pontos amostrais. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS para construção do Modelo Digital de Elevação e em seguida coletadas amostras indeformadas de solo nas profundidades 0,05- 0,10 e 0,10 – 0,20 m, totalizando 128 amostras.

A resistência do solo à penetração foi determinada em laboratório nas amostras coletadas com os cilindros volumétricos, utilizando um penetrômetro eletrônico modelo MA-933, marca Marconi, com velocidade constante de 0,1667 mm s<sup>-1</sup>, equipado com uma célula de carga de 200 N, haste com cone de 4 mm de diâmetro de base e semiângulo de 30°, receptor e interface acoplado a um microcomputador, para registro das leituras por meio de um software próprio do equipamento. A determinação da umidade foi obtida pela diferença entre a massa do solo úmido e a massa do solo seco em estufa a 105°C durante 24 horas conforme metodologia da Embrapa (1997).

A análise da dependência espacial foi feita por meio da geoestatística. Sob teoria da hipótese intrínseca o semivariograma experimental foi estimado a partir do software GS+ (Robertson, 1998), pela equação:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Para a confecção dos mapas de isolinhas utilizou-se o software Surfer versão 8.00 (Golden Software Inc., 1999).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva da resistência do solo à penetração (RSP) e umidade são apresentados na (Tabela 1). Os valores da média e da mediana para os atributos RSP e teor de umidade nas profundidades 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m estão próximos,

indicando que estes dados seguem uma distribuição simétrica, corroborando assim com Souza et al. (2006) estudando a variabilidade espacial da RSP e teor de umidade sob cultivo de cana-de-açúcar.

Observou-se que a área apresenta crescente aumento da RSP da profundidade de 0,05-0,10 m para 0,10-0,20 m, passando de 2,14 para 2,22 MPa (Tabela 1), diferindo-se pouco em profundidade.

Convém destacar que, Tormena e Roloff (1996) afirmam que valores de resistência do solo à penetração iguais ou superiores que 2 MPa são restritivos ao crescimento das raízes e que o valor de 1 MPa é crítico, mas não impedem o crescimento.

Os coeficientes de assimetria e curtose estão próximos de zero (Tabela 1), para todas as variáveis caracterizando distribuição simétrica, justificados pelos valores de média e mediana, concordando com os valores encontrados por Bottega et al. (2011) que avaliaram a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov indicaram normalidade para todas as variáveis estudadas. Apesar da normalidade dos dados não ser uma exigência da geoestatística, é importante que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (Isaaks & Srivastava, 1989).

Segundo a classificação do coeficiente de variação (CV), proposta por Warrick & Nielsen (1980), os valores de CV para a classificação de variáveis do solo (CV < 12 %), (12 % < CV > 60 %) e (CV > 60 %), indicam variabilidade baixa, moderada e alta, respectivamente, e sendo assim, o teor de umidade do solo apresentou valores médios de coeficiente de variação (CV) nas profundidades, indicando média variabilidade dos dados e a RSP apresentou respectivamente baixa variabilidade dos dados na profundidade de 0,05 – 0,10 m e moderada variabilidade na profundidade de 0,10 – 0,20 (Tabela 1).

Os semivariogramas experimentais são apresentados na (Figura 2). As variáveis de RSP e umidade do solo ajustaram respectivamente aos modelos esférico e exponencial. Os modelos esférico e exponencial que se ajustaram aos dados desse estudo concordam com os resultados de pesquisas que indicam esses modelos como os de maior ocorrência para atributos do solo (SOUZA et al. 2004).

Na análise do grau de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), onde valores de [(C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)] menores que 25% são considerados dependência espacial forte, valores de [(C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)]



entre 25 e 75 % indicam dependência espacial moderada e valores de  $[(C_0/(C_0+C_1))]$  maiores que 75% dependência espacial fraca. A análise da relação do  $[(C_0/(C_0+C_1))]$  mostrou que as variáveis em estudo apresentaram fraca dependência espacial, sendo que o ideal para estas variáveis seria o adensamento da malha de amostragem.

O alcance (a) indica a distância (m) limite entre pontos correlacionados entre si. Pontos coletados com distâncias maiores que o alcance é independente e, para sua análise, pode-se utilizar a estatística clássica (Vieira, 2000). Os atributos em estudo apresentaram alcances decrescentes com a profundidade partindo de 18,63 para 18,00 m para a RSP e 24,97 para 14,16 respectivamente para a umidade do solo.

Os mapas de krigagem dos atributos RSP e umidade do solo são representados na **(Figura 3)**. Comparando as informações entre os valores de RSP e umidade, observa-se que houve correlação entre os valores, quando comparados entre si, os maiores valores de RSP são observados onde ocorrem os menores valores do teor de umidade do solo nas profundidades estudadas.

## CONCLUSÕES

1 - As variáveis de RSP e umidade apresentaram estrutura de dependência espacial fraca nas duas profundidades mostrando - se aleatória.

2 - O teor de umidade e a RSP apresentaram valores de alcances maiores que o espaçamento da malha, variando entre 18,00 a 24,97 m.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFAM e a FAPEAM pelo financiamento do projeto.

## REFERÊNCIAS

ABREU, S.L. et al. Variabilidade espacial de propriedades físico hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.33, n.2, p.275-282, 2003.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A. P.C.; LEONEL, C.L.; SÃO JOÃO, A.C.G.; FREDDI, O.S. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1223- 1232, 2007.

BOTTEGA, E.L.; BOTTEGA, S.P.; SILVA, S.A.; QUEIRO, D.M.; SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L.; Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um

Latossolo Vermelho distroférico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, n.2, p. 331-336, 2011.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radam Brasil, folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561 p.

BRAUN, E.H.G.; RAMOS, J.R.A. Estudo agroecológico dos campos Puciari-Humaitá (Estado do Amazonas e Território Federal de Rondônia). *Revista Brasileira de Geografia*. v. 21,n. 04, p. 443-497, 1959.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. *Soil Science Society of American Journal*, v. 58, n. 5, p. 1501- 1511, 1994.

EMPRESA BRASILEIRAS DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.212p.

GOLDEN SOFTWARE INC. (Golden, Estados Unidos). SURFER for Windows: release 7.0: contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers, user's guide. New York, 1999. 619p.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; COLLARES, G.L.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* v.33, p.845-855, 2009.

MERCANTE, E. et al. 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*, Viçosa, v.27, n.6, p.1149-1159, 2003.

MODELO, A.J.; FERNANDES, H.C.; SCHAEFER, G.C. E.; SILVEIRA, J. C. M. Efeito da compactação do solo sobre a emergência de plântulas de soja em sistema plantio direto. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1259-1265, 2008.

ROBERTSON, G.P. GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

SILVA, E.A.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; ROCHA, J.V.; SOUZA, E.G. Um Estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos do solo e planta. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 25, n. 2, p. 365-371, 2003.

SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M.C.C.; CAVALCANTE, Í.H.L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L.G.; DE SOUZA, S. R.; Dependência espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, v. 36, n. 1, p. 128-134, 2006.

SOUZA, Z.M. et al. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.491-499, 2004.

SOUZA, Z.M. et al. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.491-499, 2004.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.20, p.333-339, 1996.

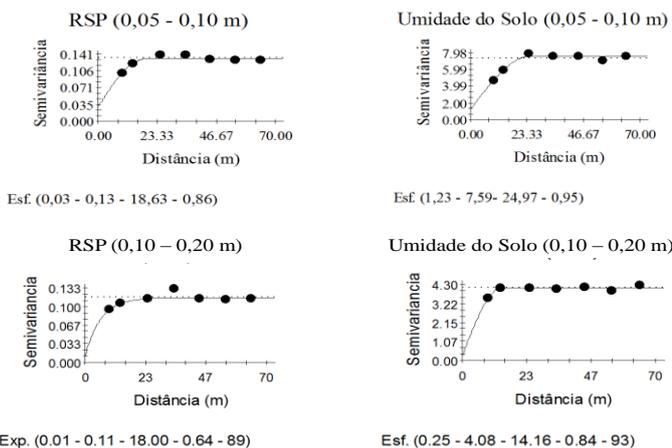
VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.) Tópicos ciência do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1. 2000. Cap. 1, p.1-54.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). Applications of soil physics. New York: Academic, 1980. p.319-344.

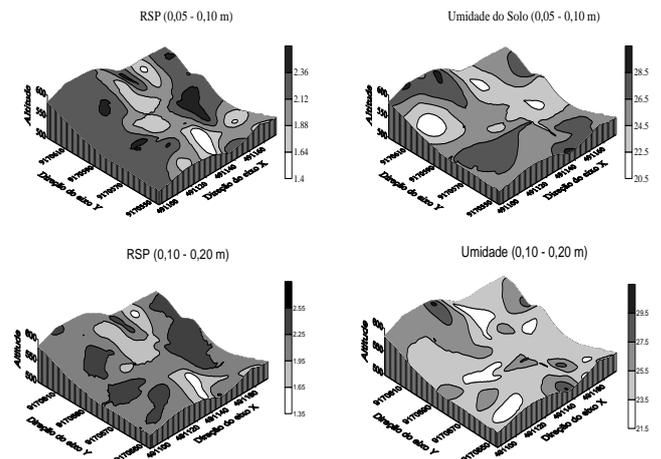
**Tabela 1.** Estatística descritiva para as variáveis de resistência do solo a penetração e umidade nas profundidades 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m em área de campo natural na região sul do Amazonas.

Estatística	Resistência do solo à penetração		Umidade	
	MPa		%	
	Profundidade (m)			
	0,05 – 0,10	0,10 – 0,20	0,05 – 0,10	0,10 – 0,20
Mediana	2,14	2,22	25,35	23,84
Média	2,07	2,18	25,52	24,34
DP <sup>1</sup>	0,34	0,47	2,38	2,97
Variância	0,12	0,22	5,69	8,83
CV <sup>2</sup> %	16,75	22,69	9,35	12,21
Curtose	- 0,49	0,55	- 0,15	0,30
Assimetria	- 0,50	0,86	0,18	1,63
d <sup>3</sup>	0,08	0,11	0,07	0,10

<sup>1</sup>DP = Desvio padrão; <sup>2</sup>CV = Coeficiente de variação; <sup>3</sup>d = Teste de Kolmogorov Smirnov 5 %probabilidade.



**Figura 1:** Semivariograma das variáveis de resistência do solo a penetração e umidade nas profundidades de 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m em área de campo natural na região Sul do Amazonas. Esf e Exp. (C<sub>0</sub>; C<sub>1</sub>+C<sub>0</sub>; a), Esf = modelo esférico, Exp.= modelo exponencial. C<sub>0</sub> = efeito pepita; C<sub>1</sub>+C<sub>0</sub> = patamar; a = alcance.



**Figura 2:** Mapas de krigagem das variáveis de RSP e umidade do solo em área de campo natural na região Sul do Amazonas.