

## Dependência espacial da resistência à penetração e umidade em época chuvosa e seca em solo cultivado com cana-de-açúcar. <sup>(1)</sup>

**Ludmila de Freitas<sup>(2)</sup>; Ivanildo Amorim de Oliveira<sup>(3)</sup>; Milton Cesar Costa Campos<sup>(4)</sup>; Renato Eleotério de Aquino<sup>(3)</sup>; José Marques Júnior<sup>(5)</sup>**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos de Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM; <sup>(2)</sup> Doutoranda do Curso de Pós-Graduação em Agronomia –Ciência do Solo – FCAV – UNESP, Jaboticabal, SP. E-mail: [ludmilafreitas84@gmail.com](mailto:ludmilafreitas84@gmail.com); <sup>(3)</sup> Mestrandos do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo – FCAV – UNESP, Jaboticabal, SP; <sup>(4)</sup> D.Sc., Prof. do Dep. de Solos e Adubos, FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP; <sup>(5)</sup> Professor do Colegiado de Agronomia do IEAA/UFAM, Humaitá – AM.

**RESUMO:** O objetivo foi avaliar a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração (RSP) e do teor de água no solo (TAS) em diferentes épocas na região de Humaitá-Amazonas. Foi realizado o mapeamento de uma área com 8 anos de cultivo de cana-de-açúcar. Nesta área foi estabelecida uma malha de 70x70 m. Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 10 em 10 m, perfazendo um total de 64 pontos, sendo esses georreferenciados com um equipamento de GPS. Em seguida coletadas amostras de solos para a determinação da umidade gravimétrica na profundidade 0,0-0,45 m e medidos a RP em profundidade respectivamente 0,0-0,15 m; 0,15-0,30 m e 0,30-0,45 m, totalizando 192 amostras, sendo feitas em duas épocas. Concluiu-se que todos os atributos estudados nas duas épocas apresentaram estrutura de dependência espacial com semelhança no comportamento espacial para o teor de água no solo havendo diferença nos valores de RSP e TAS quando comparado às duas épocas.

**Termos de indexação:** geoestatística, atributos do solo, amazonas.

### INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas as alterações dos atributos que ocasionam a degradação dos solos têm sido detectadas de forma intensa em áreas agrícolas (Silva et al., 2005) sendo a degradação das características físicas (Bertol et al., 2001) um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica, tornando importante o monitoramento da qualidade do solo mediante avaliação das características físicas.

A resistência do solo à penetração (RSP) tem sido frequentemente utilizada como indicador da compactação do solo em sistemas de manejo, por ser um atributo diretamente relacionado ao crescimento das plantas e de fácil e rápida determinação (Mercante et al., 2003) sendo

fortemente influenciada pelo teor de água, textura, densidade e composição mineralógica do solo (Gomes & Peña, 1996).

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 (Souza et al., 2001; Utset & Cid, 2001; Abreu et al., 2003; Mercante et al., 2003). Para diferentes condições de teores de água no solo, distintos comportamentos da variabilidade espacial da resistência do solo à penetração foram observados por Utset & Cid (2001). E considerando que o teor de água no solo exerce forte influência nos resultados da resistência do solo à penetração o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da resistência do solo a penetração e teor de água no solo em diferentes épocas na região de Humaitá-AM.

### MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na região de Humaitá, sul do Estado do Amazonas, situada na BR 319, Km 55 sentido Humaitá-Porto Velho e encontra-se sob as coordenadas geográficas de Latitude: 7° 30' 21" Sul, Longitude: 63° 1' 14" Oeste e Altitude de 59 m.

O experimento foi instalado em um Cambissolo Háplico Alítico plíntico que segundo Campos (2009), estes solos são predominantes em áreas de campo alto na região Sul do Amazonas. Foi realizado o mapeamento de uma área de cana-de-açúcar com, aproximadamente, 8 anos de cultivo, sendo que a mesma foi corrigida, adubada e gradeada apenas uma vez ao se implantar o cultivo, com colheita manual em cana queimada. Nesta área foi estabelecida uma malha de 70 x 70 m. Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 10 em 10 metros, perfazendo um total de 64 pontos. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS e em seguida foram coletadas amostras de solos para a umidade gravimétrica na

profundidade 0,0-0,45 m e medidos a RP em profundidade de 0,0-0,15 m; 0,15-0,30 m e 0,30-0,45 m, totalizando 192 amostras. Essas determinações foram feitas em duas épocas, uma em período de intensa pluviosidade no mês de janeiro e a segunda no período seco ocorrendo no mês de agosto, ambos no ano de 2011.

A umidade gravimétrica foi determinada com amostras deformadas de solo, conforme o proposto em Embrapa (1997). Para a determinação da RP, foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar, com ângulo de cone de 30°. A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em resistência à penetração foi obtida segundo Stolf (1991), aplicando a fórmula:

$$R = \frac{Mg + mg + \left( \frac{M}{M+m} * \frac{Mg * h}{x} \right)}{A} \quad (1)$$

onde: R = resistência do solo à penetração, kgf cm<sup>-2</sup> (kgf cm<sup>-2</sup> x 0,098 = MPa); M = massa do êmbolo, 4 kg (Mg – 4 kgf); m = massa do aparelho sem êmbolo, 3,2 kg (Mg – 3,2 kgf); h = altura de queda do êmbolo, 40 cm; x = penetração da haste do aparelho, cm/impacto, e A = área do cone, 1,29 cm<sup>2</sup>.

A análise da dependência espacial foi feita por meio da estatística descritiva e geoestatística. Sob a hipótese intrínseca, o semivariograma experimental foi estimado pela equação:

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

em que, N(h) é o número de pares de pontos medidos das variáveis regionalizadas Z(x<sub>i</sub>), Z(x<sub>i</sub> + h), separadas por um vetor h. O gráfico de  $\hat{\gamma}(h)$  contra os valores correspondentes de h, é denominado semivariograma. Do ajuste de um modelo matemático aos valores estimados de  $\hat{\gamma}(h)$  são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C<sub>0</sub>; variância estrutural, C<sub>1</sub>; patamar, C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub>; e o alcance, a). Para isto utilizou-se o programa GS<sup>+</sup> (Robertson, 1998).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à estatística descritiva da resistência do solo a penetração e teor de água no solo estão apresentados na Tabela 1. A média e mediana para RSP (Resistência do solo a penetração) e TAS (Teor de água no solo) apresentaram valores bem próximas, evidenciando assimetria destes valores. Estes valores estão de acordo com Campos et al. (2012) que estudou a variabilidade da RSP e TAS sob cultivo de mandioca na região de Humaitá- AM. Em relação à assimetria e curtose observa-se na época 01 a RSP e TAS os valores próximos de zero confirmando os resultados da média e mediana. Já na época 02 a assimetria e curtose se distanciam do valor central

zero, tendendo neste caso a assimetria do conjunto de valores destas variáveis (Tabela 1).

De acordo com a classificação do coeficiente de variação (CV) proposta por Warrick & Nielsen, (1980) os valores de RSP, nas duas épocas estudadas, apresentaram valores altos de CV (>25%) indicando alta variabilidade, enquanto que a TAS apresentou baixa variabilidade (<12%) (Tabela 1).

Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov na época 01 somente a RSP 0,00-0,15 m indicou normalidade, já na época 02 todas as variáveis apresentaram normalidade. 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 em valores médios (Souza et al, 2006).

A RSP e o TAS (Tabela 2) apresentaram dependência espacial nas duas épocas estudadas, expressa por meio dos modelos de semivariogramas. O valor de RSP na época 01 se ajustou ao modelo exponencial na profundidade 0,00-0,15 m e esférico na profundidade 0,15-0,30 m e esférico na profundidade 0,30-0,45. Na época 02 a RSP ajustou-se ao modelo exponencial na profundidade 0,0-0,15 m e esférico na profundidade 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m. Para o teor de água no solo (Tabela 2), os dados ajustaram-se ao modelo exponencial nas duas épocas analisadas. Os modelos esféricos e exponenciais 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; Grego & Vieira 2005).

Utilizando a classificação de Cambardella et al. (1994), a análise da DE mostrou que os atributos RSP e teor de água no solo na época 01 apresentaram dependência espacial moderada (26-75%), enquanto que na época 02 na profundidade 0,0-0,15 m apresentou dependência espacial fraca e as demais apresentaram moderada dependência espacial e o teor de água no solo nas duas épocas assemelharam-se apresentando fraca dependência espacial, assemelhando-se aos dados encontrados por Souza et al. (2006) em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob cultivo de cana-de-açúcar a mais de 40 anos.

O alcance (a) indica a distância (m) limite entre pontos correlacionados entre si. Pontos coletados com distâncias maiores que o alcance são independentes e, para sua análise, pode-se utilizar a estatística clássica (Vieira, 2000). Os atributos em estudo apresentaram alcances acima do estipulado pela malha amostral nas duas épocas estudadas. Esses valores são superiores aos encontrados por Marasca et al. (2011) em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso cultivado com soja no sistema plantio direto que encontraram valores em torno de

20 m para a RSP.

### CONCLUSÕES

Todos os atributos estudados nas duas épocas apresentaram estrutura de dependência espacial com semelhança no comportamento espacial para o teor de água no solo.

Houve diferença nos valores de resistência do solo a penetração e teor de água no solo quando comparado às duas épocas.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEAM e UFAM pelo fomento e apoio respectivamente.

### REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; BLUME, E. 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*, 33:275-282, 2003.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agrícola*, 58:555-560, 2001.

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*, 58:501-511, 1994.

CAMPOS, M. C. C.; Pedogeomorfologia aplicada à ambientes Amazônicos do Médio Rio Madeira. Recife, Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. 260p. 2009.

CAMPOS, M. C.C.; OLIVEIRA, I. A.; SANTOS, L. A. C.; AQUINO, R. E.; SOARES, M. D. R.; Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. *Revista Agro@mbiente On-line*, 6:09-16, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

GOMES, A.; PEÑA, Y. A. Caracterização da compactação através do uso do penetrômetro. *Lavoura Arrozeira*, 49:18-20, 1996.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela

experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:169-177, 2005.

MARASCA, I. OLIVEIRA, C. A. A.; GUIMARÃES, E. C.; CUNHA, J. P. A. R.; ASSIS, R. L.; PERIN, A.; MENEZES, L. A. S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e teor de água em sistema de plantio direto, na cultura da soja. *Bioscience Journal*, 27:239-246, 2011.

MERCANTE, E. URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade especial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1149-1159, 2003.

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

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na Bacia Alto do Rio Grande-MG. *Ciência e Agrotecnologia*, 29:719-730, 2005.

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*, 36:128-134, 2006.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PERREIRA, G. T. & MOREIRA, L. F. Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Irriga*, 9:1-11, 2004.

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

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

UTSET, A.; CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a ferralsol at several soil moisture conditions. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, 61:193- 202, 2001.

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. (Eds.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-54, 2000.

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

**Tabela 1** - Estatística descritiva para os atributos resistência do solo à penetração nas profundidades (0,00-0,15, 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m) e teor de água no solo na profundidade (0,00-0,45 m) em diferentes épocas sob área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, AM.

Estatística	Época 01			Época 02				
	Resistência do solo à penetração			Teor de água no solo	Resistência do solo à penetração			Teor de água no solo
	MPa			g kg <sup>-1</sup>	MPa			g kg <sup>-1</sup>
Profundidade (m)								
	0,00-0,15	0,15-0,30	0,30-0,45	0,00-0,45	0,00-0,15	0,15-0,30	0,30-0,45	0,00-0,45
Média	1,17	1,48	1,61	32,94	2,16	2,86	2,72	24,54
Mediana	1,11	1,46	1,59	32,84	1,90	2,37	2,43	24,10
Mínimo	0,65	0,65	0,65	24,94	0,78	1,07	1,05	20,71
Máximo	2,00	2,58	2,73	39,49	5,51	6,46	5,96	32,03
Assimetria	0,69	0,21	0,15	-0,03	1,47	1,09	1,08	0,90
Curtose	-0,03	0,10	0,17	0,74	2,58	0,73	1,25	2,46
DP	0,30	0,40	0,46	2,71	0,91	1,21	0,94	1,96
Variância	0,09	0,16	0,21	7,34	0,83	1,47	0,88	3,84
CV (%)	26,10	27,00	28,56	8,23	42,29	42,40	34,45	7,99
d <sup>1</sup>	0,14*	0,06 <sup>NS</sup>	0,10 <sup>NS</sup>	0,90 <sup>NS</sup>	0,12*	0,16*	0,13*	0,90*

DP<sup>1</sup> = desvio padrão; CV<sup>2</sup> = coeficiente de variação; d<sup>3</sup> = \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste Kolmogorov-Smirnov.

**Tabela 2** - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais os atributos RP (MPa) nas profundidades de 0,00-0,15, 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m e teor de água no solo (TAS) (kg kg<sup>-1</sup>) na profundidade 0,0-0,45 m em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, AM.

Estatística	Resistência do Solo a Penetração			Teor de água no solo	
	Época 1				
	Profundidades (m)				
	0,0 – 0,15	0,15 – 0,30	0,30 – 0,45	0,0 – 0,45	
Modelo	Exp.	Exp.	Esf.	Exp.	
Efeito pepita (C <sub>0</sub> )	0,03	0,03	0,32	5,24	
Patamar (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	0,05	0,06	0,74	5,07	
Alcance (a)	52,79	41,03	48,70	44,48	
<sup>1</sup> [C <sub>0</sub> /(C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )]x100	47,00	59,00	56,00	90,00	
<sup>2</sup> R <sup>2</sup>	0,89	0,73	0,99	0,95	
Época 2					
Modelo	Exp.	Esf.	Esf.	Exp.	
Efeito pepita (C <sub>0</sub> )	0,01	0,05	0,48	5,80	
Patamar (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	0,12	0,11	0,11	5,22	
Alcance (a)	23,10	58,80	58,01	27,00	
<sup>1</sup> [C <sub>0</sub> /(C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )]x100	93,00	57,00	57,00	89,00	
<sup>2</sup> R <sup>2</sup>	0,85	0,99	0,99	0,91	

<sup>1</sup>[C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)]x100 = grau de dependência espacial; <sup>2</sup>R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; Esf. = esférico; Exp. = Exponencial.