



Variabilidade Espacial dos Atributos Físico-Hídricos em Terra Preta Arqueológica, sob Cultivo de Café em Apuí, AM⁽¹⁾

Uilson Franciscon⁽²⁾; Milton César Costa Campos⁽³⁾; Douglas Marcelo Pinheiro da Silva⁽⁴⁾; Willian Barros do Nascimento⁽²⁾; Pedro Cardoso Mota Júnior⁽²⁾; Leonardo Rezende Guimarães⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas- FAPEAM; ⁽²⁾ Acadêmicos de Engenharia Ambiental do IEAA/UFAM-AM, e-mail: uilsonfranciscon@gmail.com; ⁽³⁾ Professor Adjunto III do IEAA/UFAM-AM; ⁽⁴⁾ Professor Auxiliar de Ensino I da Universidade Federal do Amazonas, Brasil; ⁽⁵⁾ Acadêmico de Agronomia do IEAA/UFAM-AM.

RESUMO: Evidências arqueológicas indicam que atividades humanas antigas nos habitats amazônicos transformaram significativamente as paisagens na vizinhança dos seus assentamentos, notadamente no pré-histórico tardio. Um registro marcante a respeito disso são as áreas de solo que foram afetadas pelo homem pré-histórico, que apresentam cor escura, restos de material arqueológico. Em função da coloração escura da camada superficial, tais solos são conhecidos como Terra Preta Arqueológica (TPA), Terra Preta de Índio (TPI). O trabalho teve como objetivo avaliar a Variabilidade Espacial dos Atributos Físico-Hídricos em Terra Preta Arqueológica, Sob Cultivo de Café, Apuí, AM. No local de estudo foi delimitada uma malha de 42 x 100 m, onde foram amostradas em espaçamentos regulares de 6 x 10 m totalizando 88 pontos amostrais, sendo coletadas amostras indeformadas utilizando-se anéis volumétricos nas profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, totalizando 264 amostras. Foram realizadas análises macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo. Os resultados foram submetidos às análises de estatística descritiva e geoestatística. Os atributos do solo estudados apresentaram dependência espacial, com modelos esféricos e exponencial e alcance a partir de 3 m. De modo geral, os atributos apresentaram forte dependência espacial, com exceção da D_s, RP, MaP e MiP da profundidade de 0,0-0,05 m e MaP da profundidade de 0,05-0,10 m que apresentaram moderada dependência espacial.

Termos de indexação: Região amazônica, Solos antrópicos e Geoestatística.

INTRODUÇÃO

A qualidade estrutural dos solos tem sido associada às condições favoráveis ao crescimento radicular, aeração, infiltração e movimento de água no seu perfil. Dentre os fatores que afetam essa qualidade, pode-se destacar o manejo empregado no cultivo e na colheita (Cichota et al., 2003), além

das próprias condições de formação do solo, que lhe conferem variabilidade natural (Souza et al., 2004).

O conhecimento do comportamento dos atributos físico-hídricos do solo torna-se uma premissa básica quando se pretende estabelecer práticas de manejo adequadas de solo e de culturas, pois a não observância desses conceitos ocasionará em erros na amostragem e manejo do solo. Isso decorre da ampla variação espacial dos atributos do solo e sentido e direção dos fluxos da água (Iqbal et al., 2005).

Apesar do avanço nas pesquisas, as determinações das propriedades hidráulicas do solo diretamente no campo continuam complexas (Mualem, 1986; Bouma, 1989). Uma das limitações das medidas diretas é devido à significante variabilidade espacial, que requer um grande número de medidas e, conseqüentemente, tempo e recursos financeiros (Van genuchten et al., 1999).

Entre os atributos físico-hídricos do solo, aqueles que se relacionam com a dinâmica da água, como conteúdo de água volumétrico na capacidade de campo (θ_{cc}), porosidade drenável (PD), em especial a condutividade hidráulica (k_0) e o volume total de poros (VTP), apresentam grande variabilidade, mesmo em solos com aparente homogeneidade (Machado, 1994).

Assim, estudar a variabilidade espacial do solo torna-se importante, visto que em agricultura, informação sobre a estrutura do espaço é fundamental para se entender o comportamento dos atributos físicos e hídricos do solo e com base nestas informações fazer inferências sobre as práticas de manejo do solo e das culturas (Søvik & Aagaard, 2003; Souza et al., 2001).

Desse modo, a geoestatística tem sido desenvolvida para tratar as variáveis regionalizadas (Goovaerts, 1999). A utilização da geoestatística permite identificar a existência ou não de dependência espacial entre as observações, podendo ser aplicada em mapeamentos, orientação de futuras amostragens e modelagens, permitindo, assim, estimar o valor do atributo em locais não amostrados, facilitando a gestão dos recursos naturais, especialmente em bacias hidrográficas



representativas no contexto pedológico e de uso do solo.

O trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos em Terra Preta Arqueológica, sob cultivo de café em Apuí, AM.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na região Sul do Amazonas no município de Apuí, sob as coordenadas geográficas de 7° 30' 22" S e 63° 01' 15" W. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo climático Am (chuvas do tipo monção), apresentando um período seco de pequena duração. A pluviosidade está limitada pelas isoietas de 2.250 e 2.750 mm, com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25°C e 27°C e a umidade relativa fica entre 85 e 90%.

No local de estudo foi delimitada uma malha de 42 x 100 m, onde foram amostradas em espaçamentos regulares de 6 x 10 m totalizando 88 pontos amostrais georreferenciados com um equipamento de GPS para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE). Em cada ponto amostral procedeu-se à coleta de amostras indeformada, utilizando-se anéis volumétricos nas profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, totalizando 264 amostras.

Nas análises laboratoriais determinou-se macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo.

A porosidade total foi obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a 105°C durante 24 horas (Embrapa, 1997). A microporosidade do solo foi determinada pelo método da mesa de tensão (Embrapa, 1997). Pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade foi obtido a macroporosidade. A densidade do solo foi calculada pela relação entre a massa do solo seco e o volume do anel volumétrico (Embrapa, 1997).

Os dados foram submetidos à análise estatística para determinação do coeficiente de correlação Pearson (r^2) entre cada par de variáveis estudadas, medindo o grau de relação linear entre as variáveis. Esta análise realizou-se no software estatístico Minitab 14 (Minitab, 2000).

Para determinação da variabilidade espacial, foi utilizado a análise geoestatística (Isaaks & Srivastava, 1989). Sob teoria da hipótese intrínseca o semivariograma experimental estimado pela Eq. (1).

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

Sendo: $\gamma(h)$ - valor da semivariância para uma distância h ; $N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ; $Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise estatística descritiva são apresentados na **Tabela 1**. Os valores de média e mediana para os atributos avaliados são semelhantes, corroborando com os valores de assimetria e curtose próximos de zero indicando distribuição simétrica dos dados. Por outro lado, alguns valores de curtose apresentaram-se maiores que 2, como a MiP na profundidade de 0,0-0,05 e 0,10-0,20 m e RP na profundidade de 0,05-0,10 m. Entretanto, os valores de curtose elevados não comprometem a análise geoestatística, tendo em vista a simetria dos dados.

Os resultados do teste de normalidade submetidos ao teste de kolmogorov-smirnov indicam distribuição normal apenas para MaP, VTP e Us (vol) na profundidade de 0,0-0,05 m, RP na profundidade de 0,05-0,10 m, Para (Warrick e Nielsen, 1980), entretanto, em se tratando de dados obtidos da natureza, o ajuste de uma distribuição teórica é apenas aproximado.

De acordo com a classificação de (Warrick e Nielsen 1980), para o coeficiente de variação (CV), constatou-se que os atributos apresentam baixa variabilidade ($CV < 12\%$), exceto para a RP e MaP nas diferentes profundidades que apresentaram moderada variabilidade (CV entre 12 e 24%). O CV permite comparar a variabilidade dos atributos de unidades diferentes, no entanto, seus resultados não permitem inferir quanto a estrutura da variabilidade espacial.

Por meio dos valores médios dos atributos físicos da TPA avaliados, notou-se que a D_s é tanto maior quanto mais profundo é a camada avaliada, passando de 1,10 g cm⁻³ na camada superficial para 1,28 g cm⁻³ na profundidade de 0,20-0,30 m. Resultados semelhantes foram encontrados por (Neves Júnior, 2008) em Horizonte A antrópico (TPA) de Argissolo na região de Iranduba, Amazonas. Nesse estudo o autor observou que a D_s é ligeiramente superior nos solos adjacentes não antrópico.

Notou-se que a RP da TPA aumentou constantemente com o incremento da profundidade avaliada, seguindo comportamento semelhante à D_s . Contudo, o valor de RP da ordem de 1,51 MPa conferido na profundidade de 0,20-0,30 m é menor



que 2,00 MPa considerados críticos e que podem restringir o crescimento radicular das plantas (Tormena e Roloff, 1996), notou-se, no entanto, teores elevados de umidade volumétrica em toda camada avaliada, o que pode estar corroborando com os valores de RP.

Observou-se ainda, que enquanto o valores de MiP, MaP e o VTP permaneceu praticamente inalterado com o aumento da profundidade.

Com relação a análise da variação espacial dos atributos físicos da TPA sob cultivo de café, cujo os parâmetros geoestatísticos são apresentados na **tabela 2**, observou-se que todos os atributos apresentaram dependência espacial, contudo, em algumas profundidades foi constatado efeito pepita puro (EPP), isto é, variação espacial aleatória para a distância amostral adotada nesse estudo. Os atributos que não apresentaram dependência espacial foram a Ds e MaP na profundidade de 0,10-0,20 m.

De modo geral, os atributos apresentaram forte dependência espacial, com exceção da Ds, RP, MaP e MiP da profundidade de 0,0-0,05 m e MaP da profundidade de 0,05-0,10 m que apresentaram moderada dependência espacial segundo a classificação de (Cambardella et al. 1994). Com relação ao alcance da dependência espacial, estes variaram de 3,00 a 55 m nas diferentes profundidades, todavia, os maiores alcances foram observados na camada superficial.

CONCLUSÕES

A RP aumentou constantemente com o incremento da profundidade avaliada, seguindo comportamento semelhante à Ds, no entanto esses valores estão abaixo de 2 que é considerado valor crítico para crescimento das raízes e desenvolvimento das plantas.

REFERÊNCIAS

BOUMA, J. (1989) Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Adv. Soil Science.*, 9: 177- 213.

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 Sci. Soc. Am. J.*, v. 58, p.1501-1511, 1994.

CICHOTA, R.; van LIER, Q.J. & LEGUIZAMÓN ROJAS, C.A. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em Argissolo Vermelho. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:789-798, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 212p, 1997.

GOOVAERTS, P. (1999) Geostatistical in soil science: State-of-the-art and perspectives. *Geoderma*, 89:1-45.

IQBAL, J. et al. Relationships between soil landscape and dryland cotton lint yield. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.69, n.6, p.872-882, 2005.

ISAACS, E.H. & Srivastava, R.M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, p.561, 1989.

MACHADO, R.V. Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma hidrosequência de solos de bem a mal drenados. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1994. 88p. (Tese de Mestrado).

MINITAB Release 14.1, Statistical Software. US/Canada. 2000.

MUALEM, Y. (1986) Hydraulic conductivity of unsaturated soils: Predictions and formulas In: Klute, A. (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI, p. 799-823.

NEVES JUNIOR, Afrânio Ferreira. Qualidade física de solos com horizontes antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central. Piracicaba, 2008. 93 p.: il. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.

SOUZA, Z.M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, n.3, p.699-707, 2001.

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.

SØVIK, A.K.; AAGAARD, P. Spatial variability of a solid porous framework with regard to chemical and physical properties. *Geoderma*, Amsterdam, v.113, n.1-2, p.47-76, 2003.

TORMENA, C.A.; ROLLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*. Viçosa-MG, v. 20, p.333-339, 1996.

VAN GENUCHTEN, M. TH.; SCHAAP, M.G.; MOHANTY, B.P.; SIMUNEK, J.; LEIJ, F.J. (1999) Modeling flow and transport processes at the local scale. In: Feyen, J.; Wiyono, K. (ed.) *Modeling of transport process in soils at various scales in time and space*. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands, p.23-45.

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 Press, 1980. cap. 2, p.319-344.



Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos físicos-hídrico do solo em diferentes profundidades da área sob cultivo de café.

Estatística Descritiva	Média	Mediana	¹ Max.	² Min.	³ DP	⁴ Var.	⁵ C.V %	Assimetria	Curtose	⁶ d
0,00-0,05 m										
Ds (gcm ⁻³)	1,10	1,10	1,42	0,7	0,12	0,01	11,63	-0,15	0,84	0,08*
RP (MPa)	1,18	1,08	2,40	0,42	0,44	0,19	37,33	0,61	-0,03	0,10*
MaP (%)	22,68	23,07	39,14	11,42	5,45	29,73	24,04	0,33	0,81	0,06 ^{ns}
MiP (%)	37,41	38,18	49,59	33,16	2,76	7,65	9,39	0,53	3,65	0,10*
VTP	59,90	59,67	77,59	47,59	5,33	28,49	8,91	0,23	0,74	0,06 ^{ns}
Us (Vol.)	37,54	37,50	45,52	31,33	2,34	5,51	6,26	0,47	1,21	0,61 ^{ns}
0,05-0,10 m										
Ds (gcm ⁻³)	1,16	1,17	1,43	0,85	0,12	0,01	10,67	-0,10	-0,26	0,04*
RP (MPa)	1,15	1,12	2,68	0,45	0,37	0,14	32,60	1,11	2,59	0,09 ^{ns}
MaP (%)	19,36	20,11	32,18	6,38	5,43	29,49	28,05	-0,08	-0,34	0,10*
MiP (%)	38,70	38,18	49,59	33,16	3,63	13,21	9,39	1,17	1,27	0,13*
VTP	58,06	57,93	75,39	48,19	4,87	23,80	8,40	0,51	0,75	0,07*
Us (Vol.)	38,91	38,26	49,59	33,16	3,75	14,12	9,66	1,12	1,02	0,13*
0,10-0,20 m										
Ds (gcm ⁻³)	1,21	1,23	1,45	0,65	0,15	0,02	12,65	-0,98	1,53	0,08*
RP (MPa)	1,28	1,26	2,21	0,48	0,43	0,18	33,85	0,21	-0,69	0,08 ^{ns}
MaP (%)	17,12	17,10	30,16	6,99	5,67	32,20	33,14	0,18	-0,80	0,87 ^{ns}
MiP (%)	38,39	38,26	49,40	33,77	2,79	7,83	7,29	1,20	2,80	0,95*
VTP	55,51	54,98	69,58	47,01	4,92	24,28	8,88	0,50	-0,16	0,07*
Us (Vol.)	38,41	38,18	49,40	33,77	2,82	7,97	7,35	1,16	2,58	0,9*

Ds: densidade do solo; RP: resistência do solo a penetração; MaP: macroporosidade do solo; MiP: microporosidade do solo; VTP: volume total de poros. ¹DP: desvio padrão; ²CV: coeficiente de variação; ³d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov; * significativo a 5 % de probabilidade.

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados para os semivariogramas dos atributos físicos-hídrico do solo das diferentes profundidades da área sob cultivo de café.

Parâmetros	Ds	RP	MaP	MiP	VTP	US
0,0 – 0,05 m						
Modelo	Esf	Esf	Esf	Esf	Exp	Esf
C ₀	0,00705	0,09750	17,11296	2,76	2,12	0,37
C ₀ +C	0,01382	0,19600	29,26593	7,784	20,1	13,38
a (m)	51,30	46,30	54,53	51,30	3,40	11,60
R ²	0,828	0,852	0,868	0,952	0,616	0,837
GDE %	51,01	49,74	58,47	34,45	10,55	2,76
0,05 – 0,10 m						
Modelo	Esf	Exp	Esf	Exp	Exp	Exp
C ₀	0,00072	0,013	14,110	1,42	2,81	1,4
C ₀ +C	0,01444	0,104	28,470	13,2	19,08	12,37
a (m)	18,20	5,40	24,80	5,20	4,90	6,00
R ²	0,847	0,733	0,856	0,899	0,725	0,778
GDE %	4,98	12,5	49,56	10,75	14,73	11,32
0,10 – 0,20 m						
Modelo	Lin	Exp	Lin	Exp	Esf	Esf
C ₀	-	0,0151	-	1,06	5,36000	0,11
C ₀ +C ₁	-	0,1632	-	7,756	22,74571	8,199
a (m)	-	4,00	-	5,90	15,00	13,70
R ²	-	0,700	-	0,741	0,672	0,874
GDE %	EPP	9,25	EPP	13,66	23,56	1,34

Ds: densidade do solo; RP: resistência do solo a penetração; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; VTP: volume total de poros; US: umidade do solo. EPP: efeito pepita puro; C₀: efeito pepita; C₀+C: patamar; a (m): alcance (metros); R²: coeficiente de determinação; GDE%: grau de dependência; Lin: linear; Exp: exponencial; Esf: esférico.

