



Variabilidade Espacial de Atributos Físicos do Solo em Área de Terra Preta Arqueológica Sob Uso de Pastagem na Região de Manicoré, Amazonas⁽¹⁾.

Bruno Campos Mantovanelli⁽²⁾; Milton César Costa Campos⁽³⁾; Marcelo Dayron Rodrigues Soares⁽⁴⁾; Wildson Benedito Brito⁽⁵⁾; Felipe da Costa Weckner⁽⁵⁾; Romária Gomes de Almeida⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM). ⁽²⁾ Eng.º Agrônomo e Mestrando pelo Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, e-mail: brunomantovanelli21@gmail; ⁽³⁾ Professor Dr. Adjunto III da Universidade Federal do Amazonas, Campus Vale do Rio Madeira; ⁽⁴⁾ Doutorando Pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas; ⁽⁵⁾ Graduandos em Agronomia pela Universidade Federal do Amazonas – Campus Vale do Rio Madeira.

RESUMO: As Terras Pretas Arqueológicas (TPA) são unidades de solo que apresentam como característica marcante a coloração escura e a presença de fragmentos de cerâmica e/ou líticos e artefatos indígenas incorporados à matriz dos horizontes superficiais do solo. Desta forma objetivou-se com este trabalho identificar a variabilidade espacial de atributos físicos do solo em uma área de terra preta arqueológica sob uso e pastagem na região de Manicoré, AM. A área de estudo localiza-se ao sul do Estado do Amazonas, nas imediações da comunidade Santo Antônio de Matupi, às margens da BR 319, rodovia Transamazônica, município de Manicoré. Demarcou-se uma área de TPA com uso de pastagem com dimensões de 88mx64m com espaçamento regular de 8m entre os pontos amostrais, estes pontos foram georreferenciados com equipamento de GPS, após os solos foram coletados nas camadas de 0,0-0,05m e 0,05-0,10 m com estrutura preservada em anéis volumétricos de volume conhecido. Foram realizadas as seguintes análises físicas: Densidade do solo, Macroporosidade, Microporosidade, Porosidade total, Umidade volumétrica do solo e Resistência do solo a penetração. Após a realização das análises e obtenção dos dados, os mesmos foram submetidos a análise de estatística descritiva e geoestatística. Os atributos do solo apresentaram estrutura de dependência espacial em todas as profundidades, com exceção para RP que demonstrou aleatoriedade na área com suas respectivas profundidades, sendo neste caso, necessário um novo adensamento da malha.

Termos de indexação: geoestatística; Santo Antônio do Matupi; TPA.

As Terras Pretas Arqueológicas (TPA) são unidades de solo que apresentam como característica marcante a coloração escura e a presença de fragmentos de cerâmica e/ou líticos e artefatos indígenas incorporados à matriz dos horizontes superficiais do solo (Kampf & Kern, 2005). Em virtude da coloração escura da camada superficial e presença de artefatos arqueológicos esses solos são conhecidos por designações como Terra Preta de Índio, Terra Preta Antropogênica e Terra Preta Arqueológica, além de uma variante menos divulgada, a Terra Mulata (Kämpf & Kern, 2005).

As TPAs apresentam uma elevada porosidade estrutural, condicionando principalmente teores de água mais elevados na capacidade de campo. A presença da porosidade estrutural é relacionada a uma qualidade física do solo adequada ao crescimento de plantas, enquanto os solos que possuem apenas a porosidade textural estão relacionados a condições físicas inadequadas (Dexter, 2004).

O conhecimento da variabilidade das propriedades do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (Grego & Vieira, 2005). A análise geoestatística permite detectar a existência da variabilidade e distribuição espacial de variáveis do solo, constituindo assim uma importante ferramenta na análise e descrição detalhada dos atributos do solo (Campos et al. 2007).

Desta forma objetivou-se com este trabalho identificar a variabilidade espacial de atributos físicos do solo em uma área de terra preta arqueológica sob uso e pastagem na região de Manicoré, AM.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se ao sul do Estado do Amazonas, nas imediações da comunidade

INTRODUÇÃO



Santo Antônio de Matupi, às margens da BR 319, rodovia Transamazônica, município de Manicoré. As coordenadas geográficas são 07° 59' 77,1" S e 61° 39' 51,2" W, com altitude média de 109 metros acima do nível do mar.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso, com um período seco de pequena duração (Am), e temperaturas variando entre 25 °C e 27 °C, e com precipitações pluviiais entre 2.250 e 2.750 mm, com chuvas concentradas no período de outubro a junho (Brasil, 1978).

Foi realizado o mapeamento de uma área de TPA com uso atual de pastagem, nesta foi demarcada uma malha de 80mx64m com espaçamento regular de 8m entre os pontos amostrais, os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento da malha perfazendo um total de 88 pontos amostrais. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS e em seguida coletadas amostras de solos em estrutura preservada nas profundidades 0,0-0,05 e 0,05-0,10. A determinação da densidade do solo foi realizada pelo método do anel volumétrico, sendo coletadas amostras indeformadas, em cilindros com volume médio de 313,9 cm³. 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. A microporosidade do solo foi determinada pelo método da mesa de tensão aplicando uma tensão de 60 cca (centímetros de coluna de água). Pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade foi obtido a macroporosidade. 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 (EMBRAPA, 1997).

Para a determinação da resistência do solo à penetração foram utilizadas as mesmas amostras coletadas para avaliação de densidade e de porosidade do solo, as mesmas foram determinadas em laboratório utilizando um penetrômetro eletrônico modelo MA-933, marca Marconi, com velocidade constante de 0,1667 mm s⁻¹, equipado com uma célula de carga de 200 N, (DALCHIAVON et al., 2011).

A variabilidade do solo foi primeiramente, avaliada pela análise exploratória dos dados, calculando-se a média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, no software estatístico Minitab 14 (Minitab, 2000).

Para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística. Sob teoria da hipótese intrínseca o semivariograma experimental foi estimado pela Eq. (1).

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

Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou-se o exame de semivariogramas, por meio do programa GS+ (Robertson, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou o melhor R² (coeficiente de determinação).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise descritiva dos atributos físicos do solo. Os valores dos atributos em estudo foram de média e mediana semelhante, mostrando distribuição simétrica; conforme Little & Hills (1978), quando os valores da média e mediana são semelhantes, os dados apresentam ou se aproximam da distribuição normal.

O Coeficiente de Variação (CV) foi classificado conforme Warrick e Nielsen (1980). Pelos valores de coeficiente de variação, verifica-se que a Ds e PT apresentaram CV de caráter baixo (CV < 12%); os demais atributos apresentaram valores de CV classificados como média variação (12% < CV < 60%). Valores elevados de CV podem ser considerados como os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados; já os baixos valores para o CV demonstram menor heterogeneidade das variáveis para a área de estudo. Apesar de os coeficientes de variação permitir comparar a variabilidade entre amostras com unidades diferentes, o seu emprego não deve ser generalizado, devendo-se apreciar esses resultados segundo as finalidades a que se destina o trabalho.

Na Tabela 2 são apresentados os modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas. Para análise de estrutura da dependência espacial, a qual só é possível por meio da geoestatística, em especial do semivariograma, todos os atributos apresentaram estrutura de dependência espacial, exceto para RP na profundidade 0,05-0,10m sendo considerado como efeito pepita puro, indicando que para essa variável a distância de amostragem não foi capaz de exibir toda a variância dos dados e, provavelmente existe tendência nos dados em seguir determinada direção. Carvalho et al. (2011) verificaram em seus trabalhos, efeito pepita puro para umidade.

A seleção dos modelos deu-se por meio do maior coeficiente de variação e maior valor da validação cruzada. Os dois modelos teóricos de semivariograma selecionados foram o esférico e exponencial corroborando com Cavalcante et al. (2011) indicando os modelos exponencial e



esférico como os de maior ocorrência para atributos do solo. Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos físicos em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), considerada dependência espacial forte em semivariogramas que têm efeito pepita a 25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca se maior que 75%.

Com base nos valores do grau de dependência espacial sugeridos por Cambardella et al. (1994), verificou-se que há forte dependência espacial para a Ds em todas as profundidades, enquanto os demais atributos apresentaram moderada e forte dependência espacial. As variáveis físicas em estudo apresentaram alcances maiores que o estabelecido na malha amostral, podendo salientar que a continuidade espacial variou de variável para variável.

Com relação aos valores do coeficiente de determinação (R^2) e validação cruzada (VC), apresentaram-se satisfatório, variando entre 0,70 a 0,96 para o (R^2), e 0,73 a 0,99 para (VC). Conforme Azevedo (2004), tais resultados mostram, em geral, ajustes dos semivariogramas que possibilitam a obtenção dos mapas da distribuição espacial dos atributos de forma confiável.

CONCLUSÕES

Os atributos do solo apresentaram estrutura de dependência espacial em todas as profundidades, com exceção para RP que demonstrou aleatoriedade na área com suas respectivas profundidades, sendo neste caso, necessário um novo adensamento da malha.

Com os valores do coeficiente de determinação e validação cruzada próximos de 1, confirmam um ótimo ajuste aos modelos selecionados esférico e exponencial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas e ao SECT-AM, pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, E. C. Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso. Campinas, 2004. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil, folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561 p.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEM, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Science Society of America Journal*, 47:1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. *Ciência e Agrotecnologia*, 31:371-377, 2007.

CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; JÚNIOR, C. A. S.; CAVALIERI, K. M. V.; SANTOS, C. F. B. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar, sob colheita mecanizada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15:940-949, 2011.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. & PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 15:237-243, 2011.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; NOGUEIRA, D.C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F.L.; ASSIS, J.T.; OLIVEIRA, M.S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41:8-19, 2011.

DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120:201-214, 2004.

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

GRECO, C.R.; VIEIRA, R.S. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:169-177, 2005.

KÄMPF, N. & KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: TORRAVIDAL, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M. & SILVA, A.P., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, 4:277-320.

LITTLE, T.M. & HILLS, F.J. Agricultural experimentation. New York, John Wiley & Sons, 1978. 350p.

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

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

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 do solo em diferentes profundidades em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

Estatística Descritiva	RP	Ds	Us (vol)	Macro	Micro	PT
	MPa	Mg m ⁻³	-----m ³ m ⁻³ -----			
0,0-0,05 m						
Média	2,10	1,29	0,33	0,11	0,27	0,39
Mínimo	0,8	0,95	0,17	0,06	0,15	0,26
¹ DP	0,55	0,11	0,05	0,03	0,03	0,03
Variância	0,30	0,01	0,31	0,09	0,09	0,11
² CV%	26,29	9,03	16,67	26,38	11,27	8,72
Assimetria	0,17	-0,39	0,21	0,76	-0,14	-0,41
Curtose	-0,30	-0,01	0,20	0,62	3,74	1,74
³ d	0,10*	0,15*	0,15*	0,10*	0,07*	0,08*

RP: resistência do solo à penetração; Ds: densidade do solo; Us (vol.): umidade volumétrica do solo; Macro: macroporosidade do solo; Micro: microporosidade do solo; PT: volume total de poros; ¹DP: desvio padrão; ²CV: coeficiente de variação; ³d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov; *significativo a 5 % de probabilidade; ns: não significativo.

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas dos atributos físicos do solo em diferentes profundidades em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

Parâmetros	RP	Ds	Us (vol)	Macro	Micro	PT
	0,0-0,05 m					
Modelo	Exp	Exp	Esf	Esf	Esf	Esf
¹ (C ₀)	0,03	0,0014	0,89	5,37	0,27	0,38
² (C ₀ +C ₁)	0,27	0,0117	25,56	9,24	6,77	9,14
³ a (m)	20,40	25,20	15,30	37,60	15,20	13,30
⁴ R ²	0,94	0,91	0,83	0,83	0,70	0,82
⁵ GDE (%)	11	1	3	58	4	4
⁶ VC%	0,80	0,98	0,95	0,93	0,99	0,90
0,05-0,10 m						
Modelo	-	Exp	Exp	Esf	Exp	Exp
¹ (C ₀)	-	0,0010	1,93	5,69	0,80	1,13
² (C ₀ +C ₁)	-	0,0086	14,52	14,97	3,00	10,76
³ a (m)	-	24,90	33,90	33,10	37,50	20,70
⁴ R ²	-	0,94	0,92	0,87	0,92	0,85
⁵ GDE (%)	-	11	13	38	26	10
⁶ VC%	-	0,96	0,98	0,99	0,91	0,92

RP: resistência do solo a penetração; Ds: densidade do solo; Us (vol): umidade volumétrica do solo; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; PT: porosidade total; Esf.: Esférico; Exp.: Exponencial; ¹C₀: efeito pepita; ²C₀+C₁: patamar; ³a: alcance (m); ⁴R²: coeficiente de determinação; ⁵GDE%: grau de dependência espacial e; ⁶VC: validação cruzada.