



Análise Espacial de atributos físicos e carbono orgânico em uma área de Terra Preta Arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

Marcelo Dayron Rodrigues Soares⁽²⁾; Milton César Costa Campos⁽³⁾; Zigomar Menezes de Souza⁽⁴⁾; Ivanildo Amorim de Oliveira⁽⁵⁾; Guilherme Adalberto Ferreira Castioni⁽²⁾; Renato Eleotério de Aquino⁽⁵⁾

⁽¹⁾Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas- FAPEAM; ⁽²⁾Doutorandos do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola -UNICAMP, Campinas, SP; E-mail: marcelo.dayron@gmail.com, ⁽³⁾Professor do Colegiado de Agronomia do IEAA/UFAM, Humaitá – AM. ⁽⁴⁾ Professor do Colegiado de Engenharia Agrícola da UNICAMP, Campinas, SP. ⁽⁵⁾ Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo – FCAV – UNESP, Jaboticabal, SP.

RESUMO: O carbono orgânico total (COT), e os atributos físicos do solo, são influenciados por diversos fatores e têm sido apontadas como indicadores adequados de alterações provocadas pelo uso e manejo do solo. O objetivo deste trabalho foi verificar a variabilidade espacial do estoque de carbono o solo em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem, na região de Manicoré, AM. Foi determinado o mapeamento de uma malha amostral com as dimensões de 80 x 56m, espaçamento regular de 08m, com 88 pontos amostrais. Foram coletadas amostras de solos, nas profundidades de 0,00-0,05,0,05-0,10,0,10-0,20 e 0,20-0,30m. A análise estatística foi avaliada por meio da estatística descritiva e geoestatística. Todos os atributos apresentaram estrutura de dependência espacial, o alcance maior que o estabelecido, e os valores do coeficiente de determinação e validação cruzada acima de 0,83%.

Termos de indexação: dependência espacial, atributos do solo.

INTRODUÇÃO

Apesar da existência de grandes áreas potencialmente agricultáveis, os solos da Amazônia, na sua maior parte, são ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica, e conseqüentemente baixa fertilidade. Dos poucos com alta fertilidade, incluem-se a “Terra Preta de Índio” (TPI). De acordo com Campos et al. (2012), estes solos normalmente são de elevada fertilidade natural, com elevados teores de P, Ca, Mg e matéria orgânica estável, quando comparados aos solos adjacente. Segundo Cunha et al. (2007), a fertilidade desses solos é fortemente relacionada com as características moleculares da fração alcalino-solúvel do carbono orgânico, as substâncias húmicas.

A medida que o solo sofre intervenções no uso, ocorre modificações nos seus atributos físicos. Em estudos com atributos físicos do solo Oliveira et al. (2007), verificaram que, quanto maior o valor da densidade do solo, menor a macroporosidade; já a

microporosidade é fortemente influenciada pela textura. Da mesma forma, Cruz et al. (2010) em análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico, verificaram a relação entre os atributos e sua distribuição espacial.

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo é fundamental, a fim de minimizar os erros de amostragem e o manejo do solo. Segundo Souza et al. (2009), isso só é possível com o uso da geoestatística, que possibilita a interpretação dos resultados, com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos.

Estudos mais específicos com atributos físicos do solo evidenciam que esses variam de um local para outro, apresentando continuidade ou dependência espacial, dependendo do manejo adotado e material de origem dos solos (Botega et al., 2011).

Tendo em vista ao exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar a análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na região de Manicoré, Sul do Estado do Amazonas, estando situada sob as coordenadas geográficas de 07° 53' 36,84" S e 61° 23'54,49" O, nas mediações da BR 230, rodovia transamazônica. 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).

O clima da região, 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%.

Foi estabelecido o mapeamento de uma área com terra preta arqueológica sob pastagem, com malha amostral de 80 m x 56m. As amostras de solos foram coletadas em espaçamentos regulares de 08 em 08 m (nas profundidades 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m) totalizando 88 pontos amostrais, esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS.

A densidade do solo foi obtida pelo método do anel volumétrico, conforme método da Embrapa (1997). As amostras com estrutura preservada coletadas em cilindros metálicos foram levadas ao laboratório para as determinações da macroporosidade, microporosidade, e porosidade total, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (1997).

O carbono orgânico total foi determinado pelo método Walkley-Black modificado por Yomans & Bremner (1988). O estoque de carbono (Est C) foi determinado pela expressão proposta por Veldkamp (1994): $Est\ C = (CO \times Ds \times e)/10$, em que Est C = estoque de carbono orgânico ($Mg\ ha^{-1}$); COT = teor de carbono orgânico total ($g\ kg^{-1}$); Ds = densidade do solo ($kg\ dm^{-3}$); e = espessura da camada (cm).

A dependência espacial foi feita por meio da geoestatística (Vieira et al., 1983). Sob teoria da hipótese

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

Em que, $N(h)$ é o número de pares de pontos medidos das variáveis regionalizadas $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, 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 (efeito pepita, C_0 ; variância estrutural, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a), para isto utilizou-se o programa GS+. No ajuste dos semivariogramas, levou-se em consideração o maior coeficiente de determinação e validação cruzada. Para confecção dos mapas de isolinhas utilizou-se o software Surfer versão 8.00.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise descritiva dos atributos físicos e carbono orgânico do solo. Os valores dos atributos em estudo foram de média e mediana semelhante, mostrando distribuição simétrica. Observou-se os

maiores valores para a Ds na profundidade superficial, e os menores valores para a macroporosidade. Segundo Pires et al., (2012), o manejo inadequado de animais deteriora os atributos físicos do solo, de forma que o efeito compactante do pisoteio animal, na camada superficial do solo, pode resultar em alteração da estrutura, selamento superficial e compactação.

Os valores do carbono orgânico total oscilaram entre 33,46 e 33,81 $g\ kg^{-1}$. Os teores elevados de COT, em relação aos outros tipos de solos, têm sido considerados um dos atributos típicos das TPAs, podendo ser utilizados para diferenciá-las dos outros solos (KAMPF e KERN, 2005). De modo geral, esses solos adjacentes apresentam teores de C orgânico no horizonte A inferiores a 30 $g\ kg^{-1}$ (LIMA, 2001).

Os teores mais elevados de COT das TPAs são atribuídos ao acúmulo de material orgânico. Por sua vez, a elevada fertilidade desses solos está relacionada ao teor de matéria orgânica e à sua elevada reatividade (CUNHA et al., 2007).

Para macro foram observados valores superiores a 0,10 m^3m^{-3} apresentando valores entre 0,16 m^3m^{-3} e 0,20 m^3m^{-3} nas profundidades amostradas (Tabela 1), segundo Kiehl (1979) a maioria das plantas desenvolve satisfatoriamente seu sistema radicular quando o volume de macroporos está acima de 0,10 m^3m^{-3} .

Conforme critérios de Warrick & Nielsen (1980) os atributos apresentaram baixo e médio CV, afirmando uma maior homogeneidade dos dados. Os coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero. Os resultados do teste de Komogorov-Smirnov (KS), a maioria dos atributos apresentou normalidade, com exceção para Ds e PT na profundidade (0,00-0,10m) e micro na profundidade (0,10-0,20m).

Os parâmetros geoestatísticos estão na Tabela 2. Todos os atributos apresentaram dependência espacial; a continuidade espacial, variou de 20,70 para PT na profundidade 0,00-0,10m e 73,80m para o COT na profundidade 0,10-0,20m, afirmando que a distribuição espacial desta variável é mais homogênea, pois ocorre em uma área de maior raio.

Quanto aos valores dos coeficientes de determinação (R^2) variaram entre 0,73 e 0,96, demonstrando um ótimo ajuste dos semivariogramas, da mesma maneira, a validação cruzada variou entre 0,83 e 0,99.

CONCLUSÕES

Todos os atributos apresentaram dependência espacial.

Os altos valores do coeficiente de determinação e validação cruzada possibilitaram um ótimo ajuste dos semivariogramas.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), e Universidade Federal do Amazonas (UFAM) pelo financiamento e apoio da pesquisa.

REFERÊNCIAS

BOTTEGA, E. L. et al. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférrico. R. Bras. Ci. Agrárias, 6:331-336, 2011.

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

CAMPOS, M. C. C. et al. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. Revista Agro@ambiente On-line, 6:102- 109,2012.

CORTEZ, J. W. et al. Atributos físicos do Argissolo amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 35:1207-1216, 2011.

CRUZ, J. S. et al. Análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar, 34: 271-278, 2010.

CUNHA, T. J. F. et. al. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). Acta Amazônica, 37:91-98, 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

KÄMPF, N. & KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: TORRADOVIDAL, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M. & KÄMPF, N.; KERN, D.C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (Ed.). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, p.277-320.

KERN, D.C.; KAMPF, N. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com Terra Preta Arqueológicas na Região de Oriximiná, Pará. Revista Brasileira Ciência do Solo, 13:219-225, 1989.

KIEHL, E. J. Manual de edafologia: relação solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

LIMA, G. C. et al. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 18:517-526, 2014.

LIMA, H.N. Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental. Viçosa,

MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 176p. (Tese de Doutorado)

OLIVEIRA, G. C. et al. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho da microregião de Goiânia, GO. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, 11:265-270, 2007.

PIRES, B. S. et al. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes usos e manejos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36:635-642, 2012.

SILVA, A.P., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, p.277-320.

SOUZA, Z. M. et al. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Ciência Rural, 40:48-56, 2009.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Berkeley: University of California, 1983. 75p.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980. cap. 2, p.319-344.

YOEMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, Philadelphia, 19:1467-1476, 1988.

Tabela 1 – Estatística descritiva dos atributos físicos e carbono orgânico do solo em diferentes profundidades, em uma área em terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

Estatística	Ds	COT	Macro	Micro	PT
	Mg m ⁻³	g kg ⁻¹	-----m ³ m ⁻³ -----		
0,00-0,10m					
Média	1,25	33,81	0,16	0,26	0,43
Mediana	1,25	33,9	0,16	0,26	0,42
Máximo	1,42	34,8	0,25	0,31	0,55
Mínimo	1,01	31,9	0,05	0,23	0,35
¹ DP	0,095	0,56	0,03	0,01	0,03
Variância	0,009	0,32	0,15	0,03	0,15
² CV%	7,61	1,68	23,83	6,91	9,09
Assimetria	-0,24	-0,69	0,03	0,70	0,58
Curtose	-0,85	0,49	0,32	0,33	0,79
³ d	0,03ns	0,15*	0,15*	0,15*	0,01ns
0,10-0,20 m					
Média	1,17	33,46	0,20	0,26	0,46
Mediana	1,16	33,5	0,20	0,26	0,46
Máximo	1,50	35,4	0,32	0,39	0,58
Mínimo	0,94	32,4	0,08	0,16	0,38
¹ DP	0,10	0,52	0,04	0,03	0,04
Variância	0,01	0,27	0,17	0,14	0,17
² CV%	9,29	1,56	21,19	14,27	9,06
Assimetria	0,30	0,48	-0,28	0,08	0,43
Curtose	0,16	1,04	0,31	2,26	0,04
³ d	0,15*	0,15*	0,15*	0,01ns	0,15*

¹DP: desvio padrão; ²CV: coeficiente de variação; ³d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov; *significativo a 5 % de probabilidade; ns: não significativo a 5 % de probabilidade.

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

Parâmetros	Ds	COT	Macro	Micro	PT
	0,00-0,10m				
Modelo	Exp	Exp	Esf	Exp	Exp
¹ (C ₀)	0,001	0,02	5,69	0,80	1,13
² (C ₀ +C ₁)	0,008	0,26	14,97	3,00	10,76
³ a (m)	24,90	21,60	33,10	37,50	20,70
⁴ R ²	0,94	0,84	0,87	0,92	0,85
⁵ GDE (%)	12	8	38	26	10
⁶ VC%	0,96	0,99	0,99	0,91	0,92
0,10-0,20m					
Modelo	Esf	Esf	Exp	Esf	Exp
(C ₀)	0,001	0,14	2,01	5,39	1,85
(C ₀ +C ₁)	0,01	0,28	14,41	12,01	15,18
a (m)	21,90	73,80	27,60	68,81	21,00
R ²	0,82	0,97	0,73	0,96	0,82
GDE (%)	10	50	14	45	12
VC%	0,99	0,97	0,97	0,93	0,83

Esf.: Esférico; Exp.: Exponencial; ¹ C₀: efeito pepita; C₀+C₁: patamar; a: alcance (m); R²: coeficiente de determinação; GDE%: grau de dependência espacial e; VC: validação cruzada.