



Variabilidade Espacial da Estabilidade dos Agregados e Estoque de Carbono em Área de Terra Preta Arqueológica sob Cultivo de Cacau, na Região Sul do Amazonas¹

Selma Ferreira Viana⁽²⁾; Douglas Marcelo Pinheiro da Silva⁽³⁾; Milton César Costa Campos⁽⁴⁾; Jose Mauricio da Cunha⁽⁵⁾; Willian Barros do Nascimento⁽⁶⁾; Pérsio de Paula Neto⁽⁷⁾

(1) Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM e UFAM; (2) Acadêmica em Agronomia do IEAA/UFAM-AM, e-mail: selmaviana1993@hotmail.com; (3) Professor do IEAA/UFAM-AM (4) Professor Adjunto II do IEAA/UFAM-AM; (5) Professor do IEAA/UFAM-AM; (6) Acadêmico em Engenharia Ambiental do IEAA/UFAM-AM; (7) Acadêmico em Engenharia Ambiental do IEAA/UFAM-AM.

RESUMO: As Terras Pretas Arqueológicas ocorrem em antigos assentamentos indígenas, e tem como características marcante presença de artefatos cerâmicos e coloração escura com grande depósito estável de carbono orgânico. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e estoque de carbono em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM. Foi delimitada uma malha em uma área com Terra Preta Arqueológica (TPA) sob cultivo de cacau, com dimensões de 42 x 88 m, com espaçamentos de 6 x 8 m, totalizando 88 pontos amostrais, nestes locais coletaram-se amostras nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Foram realizadas análises da densidade do solo (Ds), diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio Ponderado (DMP), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (ET). Os resultados foram submetidos às análises estatística descritiva e geoestatística. Os atributos do solo estudados apresentaram dependência espacial, com modelos esféricos e exponencial e alcance a partir de 20 m. A densidade do solo, diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado apresentaram-se dependentes da quantidade de carbono orgânico e estoque de carbono.

Termos de indexação: Terra preta de índio, solos da Amazônia, solos antrópicos.

INTRODUÇÃO

As Terras Pretas Arqueológicas (TPAs) ocorrem em antigos assentamentos indígenas, e tem como características marcante presença de artefatos cerâmicos e culturais, coloração escura com grande depósito estável de matéria orgânica (CAMPOS et al., 2011).

Além disso, segundo Glaser (2001) as TPAs podem apresentar em média até seis vezes mais carbono orgânico estável que solos não antropogênicos, figurando, portanto, como um grande reservatório de carbono orgânico.

Em ambientes de Terras Pretas Arqueológicas, devido ao seu grande estoque de carbono orgânico, acredita-se que parte desse material pode ser perdido para atmosfera e, dessa maneira, o conhecimento dos atributos do solo indicadores da qualidade especialmente em áreas de TPAs é fundamental, pois tanto influenciam na capacidade de produção das culturas como também desempenham funções ambientais importantes (AQUINO et al. 2014a).

Os mecanismos de formação dos agregados do solo são influenciados pelos teores e formas do C orgânico do solo que irá permitir maior ou menor agregação do solo (Castro Filho & Logan, 1991). Em contrapartida o estado de agregação do solo interfere no comportamento de outras variáveis, tais como aeração do solo, desenvolvimento radicular, suprimento de nutrientes, resistência mecânica do solo à penetração, retenção e armazenamento de água (Heid et al., 2009). Portanto, entender as relações entre o estoque de C e estado de agregação do solo são fundamentais para se manejar adequadamente um agroecossistema e assim intervir previamente no meio de cultivo evitando impactos negativos ao ambiente (Chaves & Farias, 2008).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e estoque de carbono em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Apuí, Amazonas, Brasil, situado ao longo da rodovia Transamazônica (BR-230), sob as coordenadas geográficas de 7°12'05" S e 59°39'37" W. A zona climática 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, com precipitação média anual varia entre 2.500 mm, e com período chuvoso



iniciando em outubro e prolongando-se até junho. As médias anuais de temperatura variam em torno de 25° C e 27° C, e a umidade relativa do ar varia entre 85 e 90%.

Neste local foi delimitado uma malha de 42 x 88 m, com espaçamentos de 6 x 8 m, totalizando 88 pontos amostrais, nestes locais coletou-se amostras nas profundidades 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras com estrutura preservada na profundidade 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m para determinação da estabilidade dos agregados do solo. A separação e estabilidade dos agregados foram determinadas segundo Kemper & Chepil (1965), com modificações, nas seguintes classes de diâmetro: >2,0; 2,0-1,0 e < 1,00 mm. Os agregados foram colocados em contato com a água sobre a peneira de 2,0 mm por quinze minutos, amassa do material retido em cada peneira, foi colocada em estufa a 105 °C, cujo cálculo foi feito segundo Kemper & Rosenau (1986).

A densidade do solo (Ds) foi determinada em amostras com estrutura preservada, em cilindro volumétrico com 5,57 cm de diâmetro e 4,1 cm de altura, e secas em estufa a 105-110 °C, por 48 horas (EMBRAPA, 1997).

A determinação do carbono orgânico total (COT) no solo foi efetuada segundo Yeomans & Bremner (1988) utilizando-se, como agente oxidante, o dicromato de potássio em meio ácido e uma fonte externa de calor. O estoque de carbono (Est C) foi determinado pela expressão proposta por Weldkamp (1994).

Inicialmente os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, pelo software estatístico Minitab 14 (MINITAB, 2000). Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou-se a modelagem dos semivariogramas através do programa GS⁺.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da estatística descritiva dos atributos estudados é apresentada na **tabela 1**. Observa-se que todos os atributos estudados apresentaram valores de média e mediana próximos, e assimetria e curtose próximo de zero, com exceções do estoque de carbono (Est C) na profundidade de 0,00-0,05 e 0,10-0,20 m e carbono orgânico total (COT) na profundidade de 0,05-0,10 m que apresentou valores de curtose acima de 1, caracterizando assim uma distribuição simétrica dos dados. Segundo Alho et al (2014), a proximidade dos valores média e mediana assegura uma distribuição simétrica dos dados, permitindo a análise geoestatística.

Em relação ao teste de normalidade (**Tabela 1**), todos os atributos apresentaram distribuição normal, assemelhando-se aos resultados encontrados por

Aquino et al. (2014a), que estudou solos antropogênicos e não antropogênicos no sul do Amazonas.

Segundo a classificação do coeficiente de variação (CV) proposta por Warrick & Nielsen (1980), observa-se que alguns atributos apresentaram baixa variabilidade, enquanto o DMG e Est C em todas as profundidades, DMP nas profundidades 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m e Ds na profundidade de 0,20-0,30 m que apresentaram média variabilidade. Estes resultados são considerados promissores já que estas variáveis normalmente tem alta variação no campo conforme afirmam Aquino et al. (2014 b).

Os valores médios do DMP e DMG são maiores nas camadas superficiais e decrescem em profundidade coincidindo com o comportamento dos teores do COT e Est C (**Tabela 1**). Segundo Santos et al. (2013), em áreas de TPAs o carbono orgânico desempenha um papel determinante na formação e estabilização dos agregados, e a diminuição de seu conteúdo no solo alteram a estrutura do solo.

A densidade do solo apresenta-se valor abaixo de 1 Mg m⁻³, indicando baixa densidade do solo (**Tabela 1**). Verifica-se ainda aumento desse valor coincidente com os baixos teores de COT, evidenciando assim o papel determinante do carbono orgânico no comportamento dessas variáveis conforme destacam Campos et al. (2011) que estudou perfis de TPA na região do médio Rio Madeira.

Os valores da validação cruzada (VC) foram acima de 0,60, com exceção apenas do DMP e Est C na profundidade de 0,0-0,05 m que apresentaram respectivamente 0,58 e 0,54 (**Tabela 2**), segundo Wojciechowski et al. (2009) os valores da VC variam de 0 a 1, cuja os valores mais próximos de 1 apontam os mais eficiente modelos para representar o fenômeno estudado.

Quanto ao grau de dependência espacial (GDE), classificação segundo Cambardella et al. (1994), mostraram-se, de modo geral, forte dependência espacial (GDE < 25%) para os atributos estudados. Todavia, exceção do DMP para a profundidade de 0,0-0,05 m e do Est C para a profundidade de 0,20-0,30 m, que mostraram moderada variabilidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (2013) que estudou solos sob diferentes usos na Amazônia.

Os resultados do alcance da dependência espacial não apresentaram grandes variações. O DMG foi a variável que apresentou maior amplitude, com alcance de 26 a 43 m, o DMP variou de 31 a 39 m, já a Ds ficou entre 20 a 30 m e o Est C e COT entre 20 e 27 m (**Tabela 2**), semelhante aos resultados encontrados por Aquino et al. (2014a) que estudou solos antropogênicos e não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. A informação sobre o alcance podem auxiliar no subsídio de futuros estudos envolvendo amostragem



de solos no que se refere a densidade amostral (AQUINO et al., 2014 b).

CONCLUSÕES

Os atributos do solo estudados apresentaram dependência espacial, com modelos esféricos e exponencial e alcance a partir de 20 m;

A densidade do solo, diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado apresentaram-se dependentes da quantidade de carbono orgânico e estoque de carbono.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEAM e SECT-AM pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALHO, L.C. et al. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 44, n. 3, p. 246-254. 2014.
- AQUINO, R. E. et al. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em latossolo sob floresta nativa e pastagem na Região de Manicoré, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 397-406, 2014 b.
- AQUINO, R. E. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, p. 988-997, 2014 a.
- CAMBARDELLA, C.A. et al. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.47, p.1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M.C.C. et al. Caracterização e Classificação de Terras Pretas Arqueológicas na região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 18-27, 2011.
- CASTRO FILHO, C.; LOGAN, T. J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v.55, p.1407-1413, 1991.
- CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos tabuleiros costeiros da Paraíba: solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.1, p.20-25, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997.
- GLASER, B.G. The Grounded Theory perspective: Conceptualizations contrasted with description, Sociology Press, Mill Valley, CA. 2001.
- HEID, D. M.; VITORINO, A. C. T.; TIRLONI, C.; HOFFMANN, N. T. K. Frações orgânicas e estabilidade dos agregados de um latossolo vermelho distroférrico sob diferentes usos. **Revista ciências agrária**, n.51, p.143-160, 2009.
- KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Aggregate stability and size distribution. In: BLACK, C. A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: ASA, 1965. pt. 1, cap. 39, p. 499-510.
- KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. **Aggregate stability and size distribution**. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Part I. Physical and mineralogical methods. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1986. p. 425-442.
- MINITAB Release 14.1, **Statistical Software**. 2000.
- OLIVEIRA, I. A. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háptico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.1103-1112, 2013.
- SANTOS, L.A.C. et al. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 825-836, 2013.
- WELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.175-180, 1994.
- WOJCIECHOWSKI, J.C. et al. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de floresta estacional decidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.19, p. 383-391, 2009.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, n.13, p.467-476, 1988.



Tabela 1. Estatística descritiva da densidade do solo (Ds), diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est C) em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM.

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 (Mg m ⁻³)	0,90	0,89	1,15	0,69	0,11	0,01	11,76	0,45	0,16	0,09*
DMG (mm)	2,67	2,67	3,90	1,32	0,50	0,25	18,87	- 0,34	0,91	0,09*
DMP (mm)	3,13	3,14	3,67	2,43	0,20	0,04	6,30	- 0,64	1,54	0,01 ^{ns}
COT (g Kg ⁻¹)	114,52	114,39	128,44	96,59	8,12	65,90	7,09	- 0,08	- 0,88	0,07*
Est. C (Mg há ⁻¹)	52,31	51,33	84,20	34,76	8,42	70,90	16,10	0,90	1,93	0,11*
0,05-0,10 m										
DS (Mg m ⁻³)	0,95	0,95	1,18	0,73	0,09	0,01	9,34	0,22	0,44	0,10*
DMG (mm)	2,55	2,54	3,92	1,25	0,45	0,20	17,50	0,02	0,61	0,05*
DMP (mm)	3,01	3,05	3,50	2,43	0,21	0,04	7,00	- 0,58	0,27	0,08*
COT (g Kg ⁻¹)	105,45	104,66	122,65	97,40	4,69	21,97	4,44	1,08	1,85	0,04*
Est. C (Mg há ⁻¹)	54,35	50,63	82,21	38,52	11,25	126,49	20,69	1,34	0,81	0,08*
0,10-0,20 m										
DS (Mg m ⁻³)	0,95	0,94	1,25	0,73	0,10	0,01	10,62	0,62	0,32	0,09*
DMG (mm)	2,53	2,63	3,52	1,28	0,43	0,19	16,85	- 0,65	0,06	0,02*
DMP (mm)	2,52	2,61	3,98	1,26	0,50	0,25	19,96	- 0,36	0,34	0,05*
COT (g Kg ⁻¹)	107,43	101,41	118,27	90,15	6,44	41,42	6,35	0,72	0,43	0,07*
Est. C (Mg há ⁻¹)	59,01	58,01	71,65	34,46	6,03	36,44	12,32	0,70	1,54	0,05*
0,20-0,30 m										
DS (Mg m ⁻³)	0,98	0,97	1,27	0,26	0,13	0,02	13,46	- 1,48	9,26	0,09*
DMG (mm)	2,50	2,57	3,75	1,15	0,45	0,21	18,15	- 0,25	0,23	0,09*
DMP (mm)	2,51	2,62	3,89	1,39	0,46	0,21	18,22	- 0,20	- 0,04	0,08*
COT (g Kg ⁻¹)	101,01	101,48	119,33	89,99	6,68	44,60	6,24	- 0,36	0,89	0,10*
Est. C (Mg há ⁻¹)	48,32	44,49	79,16	39,26	13,47	181,43	23,10	1,17	0,84	0,08*

¹Max.: Máximo; ²Min.: Mínimo; ³DP: desvio padrão; ⁴Var.: variância; ⁵CV: coeficiente de variação; ⁶d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, *significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas da Ds, DMG, DMP, COT e Est C do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM.

Parâmetros	Ds	DMG	DMP	COT	Est C
0,00-0,05 m					
Modelo	Exp	Exp	Esf	Exp	Exp
Efeito Pepita	0,00091	0,041	0,013	10,0	12,8
Patamar	0,0089	0,221	0,027	66,1	74,9
Alcance (m)	22	35	37	22	23
¹ R ²	0,83	0,94	0,99	0,91	0,74
² GDE (%)	10	19	48	15	17
³ VC%	0,81	0,70	0,58	0,64	0,54
0,05-0,10 m					
Modelo	Exp	Exp	Exp	Exp	Esf
Efeito Pepita	0,00082	0,018	0,007	2,70	35
Patamar	0,00062	0,135	0,039	22,67	140
Alcance (m)	30	26	31	26	23
¹ R ²	0,89	0,94	0,98	0,85	0,86
² GDE (%)	13	13	18	12	25
³ VC%	80	0,80	0,78	0,70	0,89
0,10-0,20 m					
Modelo	Exp	Esf	Esf	Exp	Exp
Efeito Pepita	0,00087	0,009	0,047	4,90	3,0
Patamar	0,00083	0,194	0,196	42,85	28,3
Alcance (m)	28	43	39	25	23
¹ R ²	0,97	0,97	0,98	0,90	0,92
² GDE (%)	10	5	24	11	11
³ VC%	0,75	0,99	89	0,75	0,82
0,20-0,30 m					
Modelo	Exp	Esf	Exp	Exp	Esf
Efeito Pepita	0,0015	0,017	0,021	4,20	49,8
Patamar	0,0096	0,162	0,204	45,63	146,6
Alcance (m)	20	11	34	24	27
¹ R ²	0,95	0,94	0,99	0,91	0,95
² GDE (%)	16	11	10	9	34
³ VC%	0,71	0,76	0,80	0,85	0,96

Est C: estoque de carbono do solo; COT: carbono orgânico total; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: Densidade do solo; Esf.:Esférico; Exp.: Exponencial;Lin: Linear; ¹R²: coeficiente de determinação; ²GDE%: grau de dependência espacial e; ³VC: validação cruzada.