

Variabilidade Espacial do Teor de Carbono Orgânico e Estoque de Carbono de Um Argissolo Sob Floresta Nativa na Região Sul do Amazonas⁽¹⁾

Uilson Franciscon⁽²⁾; Milton César Costa Campos⁽³⁾; Leandro Coutinho Alho⁽⁴⁾;
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva⁽⁵⁾; Romário Pimenta Gomes⁽⁶⁾

⁽¹⁾Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM; ⁽²⁾ Acadêmico em Engenharia Ambiental do IEAA/UFAM-AM. e-mail: uilsonfranciscon@gmail.com; ⁽³⁾ Professor Adjunto II, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas; ⁽⁴⁾ Mestre em Agronomia Tropical, Universidade Federal do Amazonas – Manaus; ⁽⁵⁾ Eng. Agrônomo, Mestrando em Agronomia Tropical, Universidade Federal do Amazonas – Manaus; ⁽⁶⁾ Acadêmico em Agronomia do IEAA/UFAM-AM.

RESUMO: A composição e as propriedades da matéria orgânica variam de acordo com seu material originário e compreende um dos principais indicadores da qualidade do solo. O presente estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial do teor de carbono orgânico e estoque de carbono do solo em área de floresta na região Sul do Amazonas. A área de estudo está situada na região do município de Humaitá em uma área de floresta nativa. Foi construída uma malha amostral nas dimensões de 70 x 70 m, com espaçamento regular entre os pontos de 10 m, totalizando 64 pontos. O carbono total foi determinado pelo método de Walkley-Black modificado por Yeomans e Bremner (1988), O estoque de carbono foi calculado pela expressão proposta por Weldkamp, 1994. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística. Os resultados do coeficiente de variação (CV) apontam baixa variabilidade dos atributos COT e Est. C e grau de dependência espacial forte a moderada. Os atributos COT e Est. C se correlacionam com os elementos do relevo.

Termos de indexação: Dependência espacial, floresta e Sul do Amazonas.

INTRODUÇÃO

O carbono orgânico do solo ou carbono orgânico total (COT), elemento determinado nas análises de solo é o componente básico da matéria orgânica do solo (MOS), que por sua vez é proveniente totalmente de material orgânico (Silva & Mendonça, 2007) e constitui a fonte primária de nutrientes às plantas, seu conteúdo no solo é considerado um dos principais indicadores de sustentabilidade e qualidade do solo (Gregorich et al., 1994). Nos solos tropicais, em especial os amazônicos, são atribuídos a matéria orgânica como um dos principais componentes responsáveis pela manutenção da qualidade e, conseqüentemente, da fertilidade do solo (Martins et al., 2009) Todavia, a MOS pode ser alterada com maior ou menor intensidade, dependendo do sistema de uso e manejo do solo e,

da composição e propriedades dessa matéria orgânica. Essas condições refletem no conteúdo do estoque de matéria orgânica do solo, o qual é obtido pela interação dos fatores que determinam sua formação e aqueles que promovem sua decomposição e armazenamento no solo. Os fatores mais marcantes são o material orgânico originário, as condições de decomposição, a biossíntese e o tempo considerado de decomposição, evidenciando o efeito do tipo de cobertura vegetal sobre o teor e a distribuição dos componentes orgânicos em solos tropicais (Longo & Espíndola, 2000). A heterogeneidade é uma propriedade intrínseca aos solos, ou seja, seus atributos podem variar ao longo do terreno, apresentando ou não alguma estrutura de organização no espaço, mas, que só podem ser mensurados por métodos estatísticos que consideram sua localização espacial. A geoestatística é uma ferramenta que descreve a variabilidade espacial de propriedades do solo e considerando a existência de dependência espacial pode-se interpolar valores em locais não medidos e através de mapas de krigagem visualizar a distribuição dos atributos do solo na área de estudo. O presente estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial do teor de carbono orgânico e estoque de carbono de um Argissolo sob floresta nativa na região Sul do Amazonas.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está situada na região do município de Humaitá, sul do Estado do Amazonas, na Latitude de 7° 30' 24" S e Longitude de 63° 04' 56" W, no município de Humaitá-Am. 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 variando entre 2.250 e 2.750 mm.

Com relação à vegetação, a área de estudo compreende a uma tipologia vegetal com galerias florestais que exhibe uma fisionomia de floresta densa estabelecida, ao longo de pequenos igarapés

e córregos da região (Braun e Ramos, 1959). Para realização do estudo na área foi construída uma malha amostral nas dimensões de 70 x 70 m, com espaçamento regular entre os pontos de 10 m, totalizando 64 pontos. Os pontos de cruzamento da malha foram georreferenciados com aparelho de GPS. O carbono total foi determinado pelo método de Walkley-Black modificado por Yeomans e Bremner (1988). O estoque de carbono (Est C) foi determinado na profundidade de coleta de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, e foi calculado pela expressão (WELDKAMP, 1994): Est C = (COT x Ds x e)/10, onde: Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg ha⁻¹), CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g kg⁻¹) Ds = densidade do solo da profundidade (kg dm⁻³), e = espessura da camada considerada (cm). Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, sendo determinados a média, valores máximos e mínimos, coeficientes de assimetria e curtose, coeficiente de variação (CV) e distribuição de frequências dos dados. Esta análise foi realizada no software estatístico Minitab 14 (Minitab, 2000). Para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística (VIEIRA et al., 1983; ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989). O semivariograma experimental foi estimado pela Equação:

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

Após o ajuste dos modelos matemáticos permissíveis foi feita à interpolação dos dados por meio da krigagem. A análise geoestatística foi realizada no software GS+ e os mapas de krigagem no software Surfer versão 8.00

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da estatística descritiva encontram-se na Tabela 2. Os valores de COT e Est. C apresentam distribuição normal, conforme mostra os valores próximos de média, mediana e valores de assimetria e curtose próximos de zero. As variáveis COT e Est. C na profundidade de 0,0- 0,05 m apresentaram valores de curtose mais elevados em relação as demais profundidades, entorno de 3. De acordo com o teste normalidade de Kolmogorov-Smirnov, todos os atributos da profundidade de 0,0-0,05 m da área foram não significativos, os demais atributos nas diferentes profundidades das duas áreas de estudo apresentaram significância ao teste de normalidade (Tabela 2). Os resultados do coeficiente de variação (CV) apontam baixa variabilidade dos atributos COT e Est. C, com CV abaixo de 10% conforme a classificação de Warrick

e Nielsen (1980), estando de acordo com a pequena amplitude dos valores máximo e mínimo dos atributos em estudo. Esses resultados são diferentes dos encontrados por Vieira et al. (2011) e Chig et al. (2012) que verificaram ao COT moderado CV.

Quanto a análise geoestatística para os atributos COT e Est. C do solo, foram encontrados dependência espacial dos atributos, conforme mostra a Tabela 2. As maiorias dos atributos ajustaram-se ao modelo exponencial, exceto o COT da profundidade de 0,0-0,05 m e Est C das profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m quemelhor se ajustaram ao modelo esférico. Quanto aos parâmetros analisados para a escolha do melhor ajuste dos modelos ao semivariogramas, na qual se observaram o coeficiente de determinação R² e o coeficiente da validação cruzada (VC) mais próximos de 1, desse modo, quase todas as modelagem foram realizadas a um valor de R² superior a 0,90, apenas os atributos da profundidade de 0,05-0,10 m foram modelados à R² entre 0,7 e 0,79. Referentes os valores da VC, os menores valores foram encontrados para os atributos da profundidade de 0,10-0,20 m, com valores próximos a 0,65, com exceção do Est. C. que obteve valor de VC de 0,96 nessa profundidade. Nas demais profundidades todos os atributos apresentaram valores de VC acima de 0,75 (Tabela 1). Com relação ao grau de dependência espacial (GDE) proposta por Cambardella et al. (1994), o qual expressa o quanto o semivariograma explica avariância dos dados experimentais, de modo que quanto menor for seu valor maior será a variação estrutural do atributo do solo, foi encontrado forte dependência espacial na profundidade de 0,05-0,10e 0,10-0,20 m para o COT e o Est C com GDE entre 11 e 17 % (Tabela 1). Em geral, os valores de alcance foram em torno de 30 m. Todavia, os menores valores de alcance foram verificados para o Est C nas profundidades de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m com valores consecutivos de 21 e 20 m, demonstrando ser o atributo com variações mais repentinas ao longo da área de estudo nessas profundidades. Os mapas de krigagem revelam que os atributos se correlacionam com a posição na paisagem, isto é, existe dependência espacial do COT e Est. C com os elementos do relevo. Observa-se ainda, através dos mapas de krigagem que a área contém um canal que atua no transporte e deposição do COT até a profundidade de 0,05-0,10 m. Entretanto, não se observa essa ação do canal sobre o Est. C, possivelmente devido o valor da densidade do solo inerente na sua estimativa (Tabela 2 e Figura 1).



CONCLUSÕES

Todas as variáveis apresentaram estrutura de dependência espacial ajustando-se aos modelos esférico e exponencial.

As variáveis apresentaram grau de dependência espacial de moderado a forte

A característica linear do relevo proporcionou distribuição prolongada dos teores de COT e Est. C.

AGRADECIMENTOS

A UFAM por proporcionar a realização deste trabalho e a FAPEAM pelo financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

- BRAUN, E.H.G.; RAMOS, J.R.A. Estudo agroecológico dos campos Puciari-Humaitá (Estado do Amazonas e Território Federal de Rondônia). *Rev. Bras. Geog.* v.21, p.443-497, 1959.
- 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.
- CHIG, L.A.; COUTO, E.G.; NOVAES FILHO, J.P.; RODRIGUES, L.C.M.; JOHNSON, M.S.; WEBER O.L.S. Distribuição espacial da granulometria, cor e carbono orgânico do solo ao longo de um transecto em microbacias na Amazônia meridional. *Act Amaz. Manaus-AM*, v.38, p.715-722, 2008.
- GREGORICH, E. G., CARTER, M.R.; ANGERS, D.A., MONREAL, C. M. E ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Sciences*, v. 74, p. 367-385, 1994.
- HOUGHTON, R.A.; SKOLE, D.L. & LEFKOWITZ, D.S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. II Net release of CO₂ to the atmosphere. *For. Ecol. Manag.* 38:173-199,1991.
- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- LEITE, L. F. C., MENDONÇA, E. S. J., NEVES, C. L., MACHADO, P. L. O. A. & GALVÃO, J. C. C. Estoques Totais De Carbono Orgânico E Seus Compartimentos Em Argissolo Sob Floresta E Sob Milho Cultivado Com Adubação Mineral E Orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:821-832, 2003
- LONGO R.M. & SPÍNDOLA, C.R. C-orgânico, Ntotal e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de cerrado e floresta amazônica. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:723-729, 2000.
- MARTINS, E.L., CORINGA, J. E.S., WEBER, L. S. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico – LVA d sob diferentes agrossistemas. *Acta Amazonica*, vol. 39(3): 655 – 660, 2009.
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.
- VIEIRA, S. R.; DECHEN, S.C.F.; SIQUEIRA, G.M.; DUFRANC, G. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. *Bragantia*, Campinas-SP, v. 70, n. 1, p.185-195, 2011.
- VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, v.51, n.3, p.1-75, 1983.
- 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.
- YOEMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication Soil Science Plant Anal.* v.19, p.1467-1476.

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados para os semivariogramas experimentais dos atributos do CO, MO e Est C das diferentes profundidades da área floresta.

Parâmetros	COT		Est. C	
	0,0-0,05 m			
Modelo	Esférico		Exponencial	
a (m)	47		21	
R ²	0,92		0,98	
GDE %	41		11	
VC	0,99		0,84	
0,05-0,10 m				
Modelo	Exponencial		Esférico	
a (m)	24		20	
R ²	0,78		0,71	
GDE %	12		17	
VC	0,75		0,96	
0,10-0,2 m				
Modelo	Exponencial		Esférico	
a (m)	33		32	
R ²	0,98		0,94	
GDE %	14		44	
VC	0,67		0,96	

COT: carbono orgânico total; Est C: estoque de carbono do solo; a (m): Alcanc; R²: Coeficiente de Determinação; GDE%: Grau de Dependência Espacial e; VC: Validação Cruzada.

Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos CO, MO e Est C nas diferentes profundidades das áreas de campo natural e floresta.

Estatística descritiva	Floresta							
	COT		Est. C		COT		Est. C	
	g kg ⁻¹ Mg ha ⁻¹		g kg ⁻¹ Mg ha ⁻¹		g kg ⁻¹ Mg ha ⁻¹		g kg ⁻¹ Mg ha ⁻¹	
	0,0-0,05 m		0,05-0,10 m		0,10-0,20m			
Média	29,94	20,51	25,9	19,32	23,94	18,38		
Mediana	29,84	20,62	25,87	19,34	23,8	18,6		
Máximo	35,1	25,9	30,11	24,3	27,62	21,5		
Mínimo	25,17	17,11	21,35	15,48	21,11	15,39		
¹DP	1,57	1,67	1,98	1,75	1,36	1,46		
Variância	2,47	2,8	3,91	3,05	1,85	2,12		
²CV (%)	5,25	8,16	7,64	9,04	5,67	7,92		
Assimetria	0,58	0,49	0,03	0,2	0,49	-0,25		
Curtose	3,32	0,48	-0,25	-0,1	0,33	-0,45		
³d	0,12 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,06	0,05	0,07	0,08		

COT: carbono orgânico do solo; Est C: estoque de carbono do solo; ¹DP: desvio padrão; ²CV: coeficiente de variação; ³d: teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov.

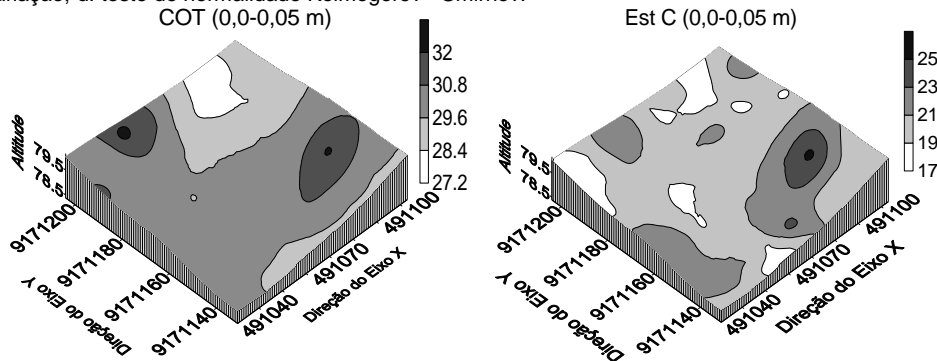


Figura 1. Mapas de krigagem dos atributos COT e Est. C, na profundidade 0,0 – 0,5 m.

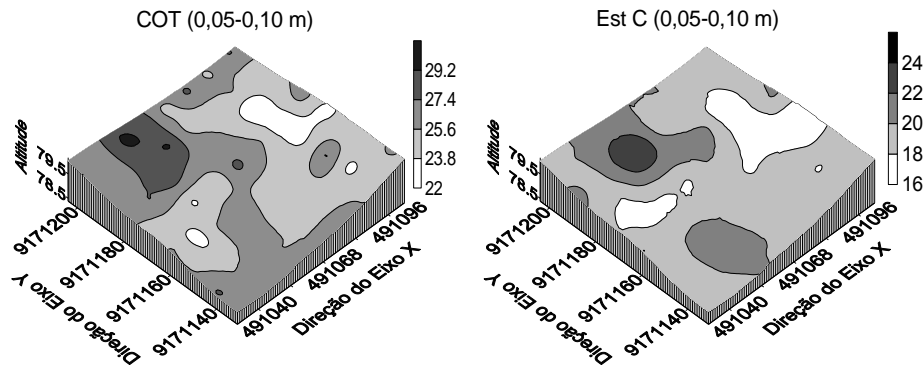


Figura 2. Mapas de krigagem dos atributos COT e Est. C, na profundidade 0,05 – 0,10 m.

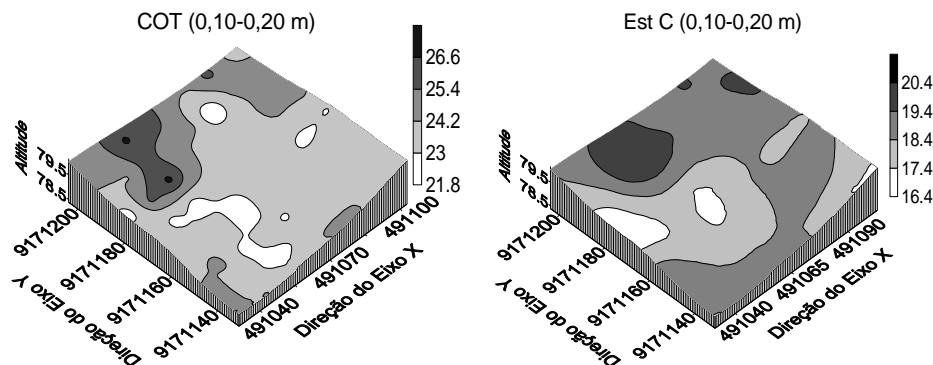


Figura 1. Mapas de krigagem dos atributos COT e Est. C, na profundidade 0,10 – 0,20 m.