

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA - CVRM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE - IEAA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

VARIABILIDADE ESPACIAL DO CARBONO ORGÂNICO E ESTOQUE
DE CARBONO DO SOLO EM ÁREAS DE TPA SOB CULTIVO NA
REGIÃO DE APUÍ, AM.

Bolsista: Diogo André Pinheiro da Silva, CNPQ

HUMAITÁ/AM
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA- CVRM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE - IEAA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO FINAL
PIB-A/0024/2013
VARIABILIDADE ESPACIAL DO CARBONO ORGÂNICO E ESTOQUE
DE CARBONO DO SOLO EM ÁREAS DE TPA SOB CULTIVO NA
REGIÃO DE APUÍ, AM.

Bolsista: Diogo André Pinheiro da Silva, CNPQ.
Orientador: Milton César Costa Campos

HUMAITÁ/AM
2014

Resumo

As mudanças no uso do solo como a conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas provocam alterações significativas especialmente na camada superficial do solo. Assim o objetivo deste trabalho é avaliar a variabilidade espacial do carbono orgânico e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica (TPA), sob cultivo de cacau e café na região de Apuí, AM. Foram selecionadas duas áreas com uso em sistema agrícola nas culturas de cacau e café. Nesses locais foi delimitada uma malha de 42 x 100 metros, em cada unidade de manejo, as malhas amostradas em espaçamentos de 06 x 10 metros e realizada a coleta de solo (nas profundidades 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 m) totalizando 352 pontos amostrais em cada malha. Realizou-se os teores de carbono orgânico, densidade do solo e estoque de carbono. Os dados foram analisados utilizando-se as análises estatística descritiva e geoestatística. Os valores de carbono orgânico total foram observados mais representativos nas camadas superficiais das áreas de estudo diminuindo em profundidade, em relação inversa estoque de carbono se mostrou mais representativo nas camadas mais profundas do solo.

Palavras-chave: Terra Preta Arqueológica, Matéria Orgânica, Geoestatística.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Origem das terras pretas de índio.....	4
2.2 Estoque de carbono	Erro! Indicador não definido.
3. METODOLOGIA.....	7
3.1 Caracterização do meio físico.....	7
3.2 Metodologia de campo e laboratório	7
3.3 Análise estatística descritiva e geoestatística.....	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	9
5. CONCLUSÃO.....	Erro
! Indicador não definido.	
6. REFERENCIAS.....	13

1. Introdução

A região amazônica se caracteriza pela presença de uma floresta úmida e densa com solos ácidos e pobres, produto do intenso intemperismo químico e biológico. Os níveis de ocupação desta extensa faixa de terra e da permanência de civilizações se deve “ao nível de cultura das sociedades condicionado pelo potencial agrícola do ambiente que ocupam” (Meggers 1996). De acordo com Lehmann (2003) em muitas regiões as sociedades indígenas formaram extensos depósitos de resíduos, para muitos simplesmente rejeitos, que alteraram as propriedades do solo. Os vestígios mais contundentes, com ampla distribuição, são as manchas de solos de cor negra ricos em matéria orgânica e com muitos fragmentos de artefatos cerâmicos, e por vezes com líticos, mais conhecidos como Terra Preta de Índio (TPI) e mesmo Terra Preta Arqueológica (TPA), ou simplesmente Terra Preta (Kaempf e Kem 2005).

Em solos tropicais, a matéria orgânica tem grande importância no fornecimento de nutrientes, na retenção de cátions, na complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, na estabilidade da estrutura, na infiltração e retenção de água, na aeração e na atividade da biomassa microbiana, constituindo-se num componente fundamental da capacidade produtiva (Bayer & Mielniczuk, 1999).

Nessas condições, os ciclos do carbono e dos nutrientes operam graças à entrada fotossintética do gás carbônico e pela decomposição acelerada e contínua da matéria orgânica do solo realizada pelos microrganismos decompositores (Moreira & Fageria, 2008). A qualidade e a quantidade de matéria orgânica é diretamente proporcional à atividade da biomassa microbiana, que é a principal responsável pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, exercendo sua influência tanto na transformação da matéria orgânica quanto na estocagem do carbono e nutrientes minerais, ou seja, na liberação e na imobilização de nutrientes (Jenkinson & Ladd, 1981).

Os atributos do solo em ambiente amazônico apresentam variações marcantes nas propriedades, físicas, químicas e mineralógicas. Para Campos et al. (2007) a topografia tem sido frequentemente relatada como causadora das variações nos atributos do solo que, muitas vezes, são refletidas na vegetação. Segundo Kosugi et al. (2007) a variação espacial dos atributos do solo ocorre devido a fatores pedogênicos diversos, assim como pelo uso e manejo, conseqüentemente esses atributos exibem variabilidade espacial e temporal em macro, meso e micro escalas. O uso de análises de geoestatística têm sido utilizadas para mensurar uma série de propriedades físicas e químicas do solo em sua

maioria (Gonçalves et al., 2001), também para algumas propriedades biológicas (Sinigani et al., 2005).

Com o uso das técnicas geoestatísticas é possível verificar o comportamento de um atributo do solo no espaço e no tempo (Wang et al., 2002), pois esta ferramenta incorpora em si função de relacionar a distância e a covariância dos atributos do solo entre os pontos das análises espaciais tornando assim as determinações mais acuradas pois considera que os atributos não são espacialmente dependentes. De acordo com Ohashi & Gyokusen (2007) para que isso seja possível lança-se mão aos semivariogramas, para modelar os dados e posteriormente a possível confecção dos mapas de krigagem, afim de, reduzir a necessidade de amostragem mais intensa dos atributos na área de estudo.

Os ecossistemas terrestres vem sendo considerados nas últimas décadas tão importantes quanto os oceanos na retirada e no armazenamento de carbono no solo (Roscoe, 2005). As alterações climáticas estão intimamente relacionadas as fontes ou sumidouro de carbono no solo muito importante nos ciclos biogeoquímicos. O carbono orgânico do solo é um reservatório de carbono importante no ciclo biogeoquímico global: a quantidade total de carbono orgânico nos solos é estimada em 2011 GT e representa aproximadamente 82 % do carbono orgânico global em ecossistemas terrestres.

O uso destes solos depende de um enfoque multidisciplinar na avaliação dos problemas e no estudo de soluções, para a racionalização do uso destas áreas. Neste aspecto, levanta-se a necessidade do conhecimento detalhado das características e propriedades das Terras Pretas Arqueológicas como estoque de carbono no solo, objetivando em seu manejo adequado e o uso mais apropriado de insumos na produção agrícola.

A hipótese deste estudo é de que a área de Terras Pretas Arqueológicas com sua importância de solos com alta fertilidade e potencial para agricultura, tem grande aporte em estocar carbono, que por sua vez, poderá ter grande influência para o clima global se, o mecanismo for entendido e replicado em uma extensão maior.

2. Revisão de Literatura

2.1 Origem das Terras Pretas de Índio

Existem hipóteses gerais para a formação de Terras Pretas Arqueológicas: a antrópica, que teria sido o resultado não intencional da ocupação humana e do descarte do lixo, e a antropogênica, que teria sido resultado do manejo intensivo do solo para a

agricultura. Segundo Kern et al. 2004 descrevem as “Terras Pretas” como um “plaggen epipedon”, ou seja, formado a partir da incorporação intencional de material orgânico através de práticas de manejo consequência da ocupação de populações humanas, hipótese defendida por Woods & McCam (2001), e que vem sendo corroborada com as pesquisas atuais.

O descarte do lixo (com queimas sucessivas e graduais), as práticas funerárias e os vegetais utilizados como fonte de matéria-prima para construção, dos povos que habitavam a Amazônia tiveram papel relevante para o aumento de matéria orgânica no solo e conseqüentemente o seu enriquecimento em cálcio, magnésio, zinco, manganês, fósforo e carbono. Isso ocorre porque esses solos têm grande quantidade de carbono na forma de carbono pirogênico (carvão), de difícil digestão com ácido sulfúrico concentrado (Steiner et al., 2004).

São solos que possuem uma camada superficial modificada por atividades antrópicas, com elevados teores de P, Ca, Mg, Mn, Zn e com alto teor de matéria orgânica (Kern & Kampf, 1989). Estes solos tem elevado pH (5,5 – 6,5), alta capacidade de troca catiônica, baixa acidez potencial e alta saturação por bases, quando comparados aos solos, adjacentes (Glaser, 2000). São horizontes de solos que ocorrem em muitos pontos dentro da Amazônia e geralmente de topografia plana (Kern et al., 2003).

As Terras Pretas são encontradas em uma variedade de tipos de solo (Kern et al., 2003), e no campo são identificadas por feições não usuais para solos amazônicos de terra firme, tais como a camada superficial de coloração escura (bruno-escura à preta) e a presença de artefatos de cerâmica e líticos. Sua elevada fertilidade química (altos teores de C orgânico, Ca, Mg, P e microelementos) também contrasta com os solos circunvizinhos usualmente pobres em nutrientes para as plantas (Lima et al., 2001).

Kern et al. (2003) declaram que a espessura do horizonte antrópico ou do refugio ocupacional, apresentam de 30 a 60 cm de espessura, podendo eventualmente chegar a 2m. As Terras Pretas são formadas por um grande depósito estável de matéria orgânica, contendo aproximadamente 30% de carbono preto, originado da queima incompleta da biomassa, sendo este, provavelmente, o responsável pela alta capacidade de estoque de nutrientes no solo (Glaser 2000)

Os sítios de Terras Pretas podem corresponder a várias classes de solos, tais como Latossolos, Argissolos, Cambissolos, Plintossolos, Espodossolos e outros (Embrapa, 1999). Embora os sítios com Terras Pretas ocorram sobre diversas classes de solo, seu maior registro é sobre Latossolos (Oxisols) e Argilossolos (Ultisols), que juntos recobrem

aproximadamente 70% da Amazônia esses solos são profundos, bem drenados, de textura variando de média a muito argilosa e com baixa reserva de nutrientes essenciais às plantas (Rodrigues, 1996).

De acordo com Kämpf & Kern (2005), os horizontes A das Tps, que correspondem à camada de ocupação humana (lembrando que a superfície atual não necessariamente precisa ser a mesma da ocupação antiga), apresentam coloração mais escura, podendo variar de preta, cinza muito escuro a bruno escuro (N2/; 2,5YR2/0; 5YR2,5/1; 7,5YR 2/0; 10YR 2/0 a 3/4), textura mais arenosa e melhor estruturada e presença de fragmentos de cerâmica e/ou artefatos líticos, em relação às áreas adjacentes.

2.2 Estoque de carbono

A estimativa do estoque de carbono no solo em toda a Amazônia Brasileira foi estimado em cerca de 47 gigatoneladas (GTC), mas afirma-se que o carbono no solo não é limitado a este valor, já que esta estimativa só foi até 1 metro de profundidade (FEARNSIDE, 2009). Tendo em conta as diferenças nas propriedades físicas e químicas dos solos antrópicos e adjacentes, as Terras Pretas Arqueológicas da Amazônia tem níveis elevados de carbono, com concentração de até 150 C/kg de solo (Glaser et al 2000).

Tendo um erro padrão igual a 24,5% da média (Cerri et al., 2000), onde tem-se como alta a incerteza nestas estimativas. Existe uma diferenças na estocagem de carbono de acordo com a classe textural do solo. Sombroek et al. (1993) estimaram estoques de carbono em 56 Mg C/ha em solos Argilosos enquanto que para os solos arenosos foi de 34 Mg C/há até 1 m de profundidade.

Trumbore et al. (1990) calcularam um estoque de carbono lábil (hidrolisável) do solo de 54 t C/ha, medido nos 60 cm superficiais de um Ultisol (Podzólico) amazônico típico. Nesse cálculo foi constatado que a camada de 60 a 150 cm tinha 36 t C/ha adicionais de carbono lábil e 40 t C/ha de carbono refratário.

Tendo em conta as diferenças nas propriedades físicas e químicas dos solos antrópicos e adjacentes, as Terras Pretas Arqueológicas da Amazônia tem níveis elevados de carbono, com concentração de até 150 C/kg de solo (GLASER et al 2000). Além disso a matéria orgânica nas Terras Pretas é persistente, já que apresenta teores elevados de carbono mesmo anos depois que as áreas cultivadas são abandonadas. Trumbore et al. (1990) calcularam um tempo de substituição < 25 anos para todo o estoque de carbono do solo de 0 a 8 m de profundidade sob pastagem. O aumento de temperatura tem maior efeito na

aceleração da liberação de carbono lento que na de carbono lábil (Bellamy et al., 2005). O inventário nacional brasileiro indica uma perda média na Região Norte (sete dos nove estados da Amazônia Legal) durante os anos 1990-1994 de 5,9 milhões de t C/ano (Brasil, Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004).

3. Metodologia

3.1 Caracterização do Meio Físico

A área de estudo está situada na região do município de Apuí, sul do Estado do Amazonas, sob as coordenadas geográficas de 7° 30' 22" S e 63° 01'15" 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 variando entre 2.250 e 2.750 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 umidade relativa do ar variam entre 85 e 90%.

Na região de relevo movimentado, nos municípios de Manicoré e Apuí, encontram-se Latossolos Vermelhos com caráter distrófico nas posições de topos, Argissolos Amarelos distróficos em ambientes de meia encosta e Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico nas posições de sopé de deposição (Campos et al., 2011).

3.2 Metodologia de campo e laboratório

Será realizado o mapeamento de duas áreas de Terras Pretas Arqueológicas (TPAs) com os seguintes usos: a) TPA sob cultivo de cacau; b) TPA sob cultivo de café. Nesses locais será delimitada uma malha de 42 x 100 metros, em cada unidade de manejo. As malhas serão amostradas em espaçamentos de 06 x 10 metros (nas profundidades 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) totalizando 264 pontos amostrais em cada malha.

O carbono total será determinado pelo método de Walkley-Black modificado por Yeomans e Bremner (1988), a matéria orgânica por sua vez, estimada com base no carbono orgânico. O estoque de carbono (Est C) determinado em todas as áreas

estudadas na profundidade de coleta de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, e calculado pela expressão:

$$\text{Est C} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e) / 10$$

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).

3.3 Análises estatística descritiva e geoestatística

Os dados serão 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 realizada no software estatístico Minitab 14 (MINITAB, 2000).

Para a caracterização da variabilidade espacial, será utilizada a análise geoestatística (VIEIRA et al., 1983; Isaaks e Srivastava, 1989). O semivariograma experimental estimado pela equação. (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 .

Os semivariogramas experimentais escolhidos com base no número de pares envolvidos no cálculo da semivariância dos primeiros lags, presença de patamar claramente definido (Wollenhaupt et al., 1997; Burrough e McDonnel 2000) e o resultado da técnica de Jack Knifing (VAUCLIN et al., 1983; VIEIRA e LOMBARDI, 1995).

Após o ajuste dos modelos matemáticos permissíveis e feita à interpolação dos dados por meio da krigagem. Utilizando o inverso do quadrado da distância como interpolador para os atributos que apresentarem estrutura de dependência espacial. A análise geoestatística realizada no software GS+ e os mapas de krigagem no software Surfer versão 8.00.

4. Resultados e Discussão

Os resultados referentes à análise descritiva dos atributos do solo, presentes na Tabela 1 e 2, mostraram valores de média e mediana próximos, caracterizando assim uma distribuição simétrica dos dados. Para a distribuição dos dados foi considerada normal, como constatado pelos valores de média e mediana semelhantes e também assimetria e curtose próximo de zero.

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

Estatística descritiva	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	DP	Variância	CV %	Assimetria	Curtose	d ³
	0,00 - 0,05 m									
COT g kg ⁻¹	55,54	54,71	83,76	27,96	10,97	120,35	19,75	0,15	0,05	0,15 *
DS Mg m ⁻³	0,89	0,88	1,15	0,69	0,11	0,01	12,51	0,42	-0,01	0,15 *
Est C Mg ha ⁻¹	24,69	23,39	38,97	11,60	5,54	30,65	22,42	0,25	-0,13	0,01 ns
0,05 - 0,10 m										
COT g kg ⁻¹	41,41	40,28	61,98	16,88	7,40	54,78	17,87	0,34	1,62	0,01 ns
DS Mg m ⁻³	0,95	0,95	1,18	0,73	0,09	0,01	9,34	0,22	0,44	0,15 *
Est C Mg ha ⁻¹	19,68	19,05	32,02	8,61	3,65	13,31	18,54	0,64	1,62	0,01 ns
0,10 - 0,20 m										
COT g kg ⁻¹	32,08	32,27	50,30	14,74	6,84	46,82	21,32	0,35	0,55	0,15 ns
DS Mg m ⁻³	0,93	0,94	1,25	0,00	0,14	0,02	15,17	-3,03	21,07	0,01 ns
Est C Mg ha ⁻¹	29,91	29,82	49,29	0,00	7,44	55,42	24,89	-0,41	2,49	0,15 *
0,20 - 0,30 m										
COT g kg ⁻¹	27,29	29,18	47,05	4,49	9,31	86,62	34,10	-0,55	-0,32	0,01 ns
DS Mg m ⁻³	0,98	0,97	1,27	0,26	0,13	0,02	13,46	-1,48	9,26	0,04 ns
Est C Mg ha ⁻¹	26,74	28,05	49,41	4,42	9,70	93,98	36,25	-0,32	-0,32	0,03 ns

Ds: densidade do solo; COT: carbono orgânico total; Est C: estoque de carbono do solo; ¹DP: desvio padrão; ²CV: coeficiente de variação; ³d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, *significativo a 5% de probabilidade.

A proximidade dos valores média e mediana assegura uma distribuição simétrica dos dados, isso significa que a dispersão dos valores não apresenta caudas muito alongadas, o que poderia comprometer a análise geoestatística, ocorre somente que os valores de assimetria e curtose são sensíveis a valores extremos de forma que um único valor pode exercer grande influência nos seus resultados (DIGGLE & RIBEIRO JÚNIOR, 2007).

Os resultados do teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov) para os atributos apresentados a densidade do solo não apresentou normalidade nas profundidades de 0,00-0,05, 0,05-0,010 m (tabela 1) e na (tabela 2) 0,00-0,05, 0,05-0,010, 0,10-0,20 m. para o carbono orgânico na profundidade 0,00-0,05 m (tabela 1) e estoque de carbono profundidade 0,10-0,20 m (tabela 1 e 2). A condição de normalidade não é uma exigência da geoestatística, é conveniente apenas que a média e a variabilidade dos dados não sejam constantes em toda a área de estudo, ou seja, que ocorra a estacionaridade necessária ao uso da geoestatística (VIEIRA, 2000).

Tabela 2. Estatística descritiva do carbono orgânico total (COT), densidade (Ds) e estoque de carbono (Est C) do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de café no município de Apuí, AM.

Estatística descritiva	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	DP	Variância	CV %	Assimetria	Curtose	d ³
0,00 - 0,05 m										
COT g kg ⁻¹	39,78	37,41	72,26	18,97	12,89	166,10	32,40	0,42	-0,85	0,04 ns
DS Mg m ⁻³	1,10	1,09	1,42	0,70	0,13	0,02	11,63	-0,15	0,84	0,15 *
Est C Mg ha ⁻¹	21,67	19,78	45,16	9,20	7,00	48,98	32,30	0,85	0,87	0,01 ns
0,05 - 0,10 m										
COT g kg ⁻¹	34,30	37,64	58,65	7,49	11,68	136,36	24,04	-0,38	-0,65	0,01 ns
DS Mg m ⁻³	1,16	1,17	1,43	0,85	0,12	0,01	10,67	-0,10	-0,26	0,15 *
Est C Mg ha ⁻¹	19,81	21,64	34,61	4,27	6,91	37,77	34,88	-0,17	-0,77	0,01 ns
0,10 - 0,20 m										
COT g kg ⁻¹	33,04	34,92	47,31	12,60	7,44	55,37	22,52	-0,93	0,64	0,01 ns
DS Mg m ⁻³	1,21	1,23	1,45	0,65	0,15	0,02	12,65	-0,98	1,55	0,10 *
Est C Mg ha ⁻¹	40,09	41,72	62,96	15,95	10,58	111,99	26,40	-0,44	-0,21	0,15 *
0,20 - 0,30 m										
COT g kg ⁻¹	15,84	13,59	50,64	3,60	7,97	63,50	50,29	1,46	3,19	0,01 ns
DS Mg m ⁻³	1,28	1,31	1,53	0,98	0,13	0,02	10,13	-0,41	-0,71	0,01 ns
Est C Mg ha ⁻¹	20,07	17,75	51,15	5,04	9,61	92,27	47,87	1,13	0,99	0,01 ns

Ds: densidade do solo; COT: carbono orgânico total; Est C: estoque de carbono do solo; ¹DP: desvio padrão; ²CV: coeficiente de variação; ³d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, *significativo a 5% de probabilidade.

Segundo Isaaks & Srivastava (1989), mais importante que a normalidade dos dados é a ocorrência ou não do chamado efeito proporcional, que a média e a variabilidade dos dados sejam constantes na área de estudo, o que foi observado, ou seja, ocorrência de estacionaridade necessária ao uso da geoestatística.

De acordo com a classificação do CV proposta por Warrick e Nielsen (1980), que classificaram como baixa variabilidade $CV < 12\%$, média variabilidade CV entre 12 e 60% e alta variabilidade $CV > 60\%$, nas profundidades de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m os atributos carbono orgânico total e estoque de carbono apresentaram média variabilidade. A densidade do solo apresentou também uma média variabilidade nas tabelas 1 e 2, com exceção na profundidade 0,05-0,10 m (tabela 1) e 0,00-0,05, 0,05-0,010, 0,20-0,30 m (tabela 2).

Contudo a matéria orgânica é um dos principais agentes de formação e estabilização de agregados, e a diminuição de seu conteúdo no solo pelo cultivo é uma das maiores causas de deterioração da estrutura do solo (HAYNES & SWIFT, 1990), já que a partir da agregação, indiretamente, são afetadas as demais características físicas como densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

Quanto aos resultados das análises geoestatísticas para os índices COT, DS e Est C apresentados nas Tabelas 3 e 4, verificou-se dependência espacial para todas as variáveis, com exceção para o COT (tabela 3) na profundidade de 0,0-0,05, 0,05-0,10 m, os quais apresentaram efeito pepita puro (EPP) e DS na profundidade 0,05-0,10 m. ou seja, considerando o espaçamento amostral, variação aleatória na área de estudo.

Tabela 3. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas do carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est C) e da densidade (DS) do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM.

Parâmetros Geoestatísticos	Modelo	EPP	Patamar	Alcance (m)	$1R^2$
0,00 - 0,05 m					
COT	-	-	-	-	-
DS	Gausiano	0,003	0,012	7,97	0,49
Est C	Esférico	0,92	30,40	11,31	0,97
0,05 - 0,10 m					
COT	-	-	-	-	-
DS	-	-	-	-	-
Est C	Exponencial	2,07	13,70	8,40	0,03
0,10 - 0,20 m					
COT	Exponencial	3,20	45,61	10,80	0,96
DS	Esférico	0,00	0,01	10,70	0,41
Est C	Esférico	1,50	56,52	9,30	0,31
0,20 - 0,30 m					
COT	Esférico	0,10	81,18	10,00	0,63
DS	Esférico	0,00	0,017	11,90	0,89
Est C	Esférico	1,60	93,70	9,20	0,52

EPP: efeito pepita puro; Ds: densidade do solo; COT: carbono orgânico total; Est C: estoque de carbono do solo; $1R^2$: coeficiente de determinação.

Os semivariogramas dos atributos que apresentaram dependência espacial ajustaram-se predominantemente aos modelos exponencial e esférico, exceto a densidade do solo na profundidade 0,0-0,05 m (tabela 3), que apresentou modelo gaussiano corroborando com outros estudos que apontam serem os modelos que melhor se ajustam a estes atributos (SOUZA et al., 2009).

Tabela 4. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas do carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est C) e da densidade (DS) do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de café no município de Apuí, AM.

Parâmetros Geoestatísticos	Modelo	EPP	Patamar	Alcance (m)	¹ R ²
COT	Esférico	4,10	168,0	9,70	0,77
DS	Exponencial	0,001	0,01	9,90	0,34
Est C	Esférico	0,40	42,44	9,70	0,34
COT	Exponencial	21,00	136,20	13,08	0,83
DS	Exponencial	0,002	0,01	10,80	0,51
Est C	Exponencial	7,10	47,85	13,02	0,82
COT	Esférico	2,70	57,46	10,83	0,58
DS	Esférico	0,002	0,02	9,65	0,36
Est C	Esférico	0,10	116,6	10,77	0,62
COT	Esférico	0,10	61,90	11,40	0,86
DS	Exponencial	0,001	0,02	7,50	0,42
Est C	Esférico	0,10	83,59	10,80	0,57

EPP: efeito pepita puro; Ds: densidade do solo; COT: carbono orgânico total; Est C: estoque de carbono do solo; ¹R²: coeficiente de determinação.

Os semivariogramas dos atributos que apresentaram dependência espacial ajustaram-se predominantemente aos modelos exponencial e esférico, corroborando com outros estudos que apontam serem os modelos que melhor se ajustam a estes atributos (CAJAZEIRA e ASSIS JUNIOR, 2011).

O alcance da dependência espacial não apresentou grandes variações em profundidades, todavia, o a densidade do solo nas duas áreas de estudo apresentaram o menor alcance.

5. Conclusão

1. Os valores de carbono orgânico total foram observados mais representativos nas camadas superficiais das áreas de estudo diminuindo em profundidade, em relação inversa estoque de carbono se mostrou mais representativo nas camadas mais profundas do solo.

2. As duas áreas cultivadas não apresentaram diferenças significativas de alcance, podendo-se observar que possivelmente não há diferenças entre as culturas nos atributos em estudo.

6. Referências

- BAYER, C., MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A., CAMARGO, F. A. O. (ed.). **Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização. Gênese, Porto Alegre, Brasil.** p. 9-26, 1999.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais & subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, p. 9-26, 1999.
- BELLAMY, P. H. et al. Carbon losses from all soil across England and Wales - 1978 - 2033. **Nature [S.I.]**, p. 245, 2005.
- BURROUGH, P.A.; McDONNEL, R.A. Principles of geographical information systems. **Oxford University Press**, Oxford, UK., 2000.
- CAJAZEIRA, J.; ASSIS JUNIOR, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza – CE, v. 42, p. 258-267, 2011.
- CAMPOS, M.C.C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; FREITAS, E.V.S. Dependência espacial de atributos químicos em área cultivada com cana-de-açúcar em Pereira Barreto, SP. **Rev. Ciênc. Agron.**, Fortaleza-CE, v.38, n.4, p.350-359, 2007.
- CAMPOS, M.C.C.; RIBEIRO, M R.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO FILHO, M.R.; SOUZA, R.V.C.C.; ALMEIDA, M.C. Características mineralógicas de Latossolos e Argissolos na região Sul do Amazonas. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba-PR, v.9, n.1, p.11-18, 2011.
- CERRI, C. C. et al. Carbon stocks in soils of the Brazilian Amazon. In: LAL, R. et al (Ed.). Global climate change and tropical ecosystems. **Advances in soil science.** Boca Raton: CRC Press, p. 33, Cap.50, 2000.
- DIGGLE, P.; RIBEIRO Jr. P. J. Model-based geostatistics. **New York: Spring**, 2007.
- FEARNSIDE, P. M. **Estoque e estabilidade de carbono nos solos da Amazônia Brasileira.** In: As terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso destes conhecimentos na criação de novas áreas. EMBRAPA, p. 421, 2009. CD-ROM.
- GLASER, B. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. **Organic Geochemistry [S.I.]**, v. 31, p. 669-678, 2000.

GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V.; MATA, J.D.V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1.149-57, 2001.

HAYNES, R.J., SWIFT, R.S. 1990. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. **European Journal of Soil Science**, Oxford, 42, p. 73-83, 1990.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geostatistics. **New York: Oxford University Press**, p. 561, 1989.

JENRINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Ed.). **New York: Dekker: Soil Biochemistry**, 1981.

KAMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, P. et al. Tópicos em Ciência do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p. 277-320, 2005.

KERN, D. C. **Aproveitamento Econômico dos Resíduos da Indústria Madeireira como Alternativa para Minimizar os Problemas Sócioambientais do Estado do Pará**. Belém, p. 42, 2004.

KERN, D. C. **Distribution of Amazonian dark earths in the Brazilian Amazon**. In: LEHMANN, J. K., D.C.; GLASER, B. AND WOODS, W.I. (Ed.). **Amazonian Dark Earths: origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, cap. 75, p. 51, 2003.

KERN, D. C. **Distribution of Amazonian dark earths in the Brazilian Amazon**. In: LEHMANN, J. K., D.C.; GLASER, B. AND WOODS, W.I. (Ed.). **Amazonian Dark Earths: origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, Cap.75. p. 51 2003.

KERN, D. C.; KÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na Região de Oriximiná-PA. **Revista Brasileira de Ciências do Solo [S.I.]**, v. 13, p. 219-25, 1989.

KOSUGI, Y.; MITANI, T.; ITHO, M.; NOGUCHI, S.; TANI, M.; MATSOU, N.; TAKANASHI, S.; OHKUBO, S.; NIK, A. R. Spatial and temporal variation in soil respiration in a Southeast Asian tropical rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 147, n 1/2, p. 35-47, 2007.

LEHMANN, J. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Fenalsol of the central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and soil [S.I.]**, v. 249, p. 343, 2003.

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

MEGGERS, B. J. Amazônia: man and culture in a counterfeit paradise. **Revised edition**. ed. Washington: Smithsonian Institution Press, 1996.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Potencial of Brazilian Amazon Soils for Food and Fiber Production. **Dynamic Soil, Dynamic Plant [S.I.]**, v. 2, p. 82-88, 2008.

Ocidental. (2001). 176 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

OHASHI, M.; GYOKUSEN, K. Temporal change in spatial variability of soil respiration on a slope of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) forest. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 39, n. 5, p. 1130-1138, 2007.

RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ, V. H. et al (Ed.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Cap.60, p. 19, 1996.

ROSCOE, R. Dinâmica da matéria orgânica em solos de Cerrado. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Solos, sustentabilidade e qualidade ambiental**. Recife: Embrapa Solos: SBCS: UFRPe, 2005. 1 CD-ROM.

SINEGANI, A.A.S.; MAHBOOBI, A.A.; NAZARIZADEH, F. The effect of agricultural practices on the spatial variability of arbuscularmycorrhiza spores. **Turkish Journal of Biology**, Ankara, v. 29, n. 3, p. 149-53, 2005.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; SÁENZ, C.M.S. spatial variability of aggregate stability in Latosols under sugarcane. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa - MG, v.33, p.245-253, 2009.

STEINER, C. Microbial response to charcoal amendments of highly weathered soils and Amazonian Dark Earths in Central Amazonia: Preliminary results. In: WOODS, B. G. A. W. I. (Ed.). Amazonian DarkEarths: explorations in space and time. **Springer, Berlim**, p. 195-212, 2004.

TRUMBORE, S. E. et al. The rates of carbon cycling in several soils from AMS 14C measurements of fractionated soil organic matter. In: BOUMAN, A. F. (Ed.). **Soils and the Greenhouse Effect**. John Wiley & Sons. New York, E.U.A, p. 407-414, 1990.

VAUCLIN, M., VIEIRA, S.R., VACHAUD, G., NIELSEN, D.R., The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 47, 175-184. 1983.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-53.

VIEIRA, S.R., LOMBARDI NETO, F. **Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo**. Bragantia, Campinas-SP, v. 54, p. 405-412, 1995.

WANG, G.; GERTNER, G.; SINGH, V.; SHINKAREVA, S.; PARYSOW, P.; ANDERSON, A. Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil loss equation: a case study of the rainfall-runoff erosivity R factor. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 153, n. 1/2, p. 143-155, 2002.

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.

WOLLENHAUPT, N.C., MULLA, D.J., CRAWFORD, G. **Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties**. In: Pierce F J, Sadler E.J. The state of site-specific management for agriculture. Madison, p. 19-53, 1997.

WOODS, W. I.; MANN, C. C. **Origen y persistencia de las tierras negras de la Amazonía**. In: HIRAOKA, M.; MORA, S. (Ed.). Desarrollo sostenible en la Amazonía: Mito o realidad. Quito: Abya-Yala, 2001.

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, 1988.