

VARIABILIDADE ESPACIAL DA TEXTURA DO SOLO EM ÁREA DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO SUL DO AMAZONAS

Elilson Gomes de Brito Filho¹, Bruno Campos Mantovanelli^{2*}, Wildson Benedito Mendes Brito¹,
Julimar Fonseca da Silva¹, Milton César Costa Campos¹, José Maurício da Cunha¹

SAP 17779 Data envio: 15/09/2017 Data do aceite: 08/01/2018
Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 1, jan./mar., p. 139-143, 2018

RESUMO - O bioma amazônico possui uma vasta biodiversidade, com solos em sua maioria de baixa fertilidade, porém com algumas manchas denominadas de terras pretas arqueológicas (TPA), onde esses solos apresentam, alta fertilidade natural e potencial físico em relação aos solos adjacentes. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da textura em áreas de terras pretas arqueológica sob diferentes usos na região sul do Amazonas. O estudo foi realizado no município de Apuí, sendo que na área de estudo, foi estabelecido um grid amostral de 88 por 64 m, e os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento da malha, com intervalos regulares de 8 m, totalizando 88 pontos amostrais. Foram coletadas amostras de solos na profundidade de 0,0-0,5 m. A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta. Os dados foram submetidos à estatística descritiva e geoestatística. A área sob manejo de pastagem apresentou maior variabilidade espacial se tratando de atributos granulométricos. **Palavras-chave:** geoestatística, TPA, granulometria.

SPACE VARIABILITY OF SOIL TEXTURE IN ARCHAEOLOGICAL BLACK LAND AREA UNDER DIFFERENT USES IN THE SOUTH REGION OF AMAZONAS

ABSTRACT - The Amazonian biome has a vast biodiversity, with mostly low fertility soils, but with some clack soils called Archeological Dark Earth, where these soils present high natural fertility and physical potential in relation to the adjacent soils. The objective of this work was to evaluate the spatial variability of texture in areas of Archeological Dark Earth under different uses in the southern region of Amazonas. In the study area, a mesh measuring 88 x 64 m was established, so that the soils were sampled at the crossing points of the mesh, with regular intervals of 8 m, totaling a total of 88 sample points. Soil samples were collected at depth 0.0-0.5 m to the south of the state of Amazonas, respectively, in the city of Apuí to perform the physical analysis of texture by the pipette method, and then the data were submitted to descriptive statistics and geostatistics. Area under pasture management showed greater spatial variability when it comes to texture attributes granulometric.

Keys words: geostatistics, ABE, granulometry.

INTRODUÇÃO

As Terras Pretas Arqueológicas (TPA's) geralmente apresentam a fração areia como dominante em grande parte dos sítios localizados ao Sul do Amazonas, mas é observada grande variação entre os sítios com textura que podem variar entre arenosa e muito argilosa (LIMA et al., 2002; TEIXEIRA; MARTINS, 2003). Além das características físicas das TPA's serem notoriamente conhecidas, as propriedades físicas apresentam enorme potencial, se destacando a condutividade hidráulica, porosidade, resistência do solo a penetração. Estas propriedades influenciam os processos de trocas gasosas no solo, acelerando a decomposição da matéria orgânica (NEVES JÚNIOR, 2008).

As variações granulométricas do solo estão relacionadas ao material de origem, e este pode depender do ambiente deposicional dos sedimentos, do tipo de rocha que originou o solo e de processos pedogenéticos (DANIELS;

NELSON, 1987). Além do material de origem, o relevo influencia a variabilidade textural, uma vez que condiciona o tempo de exposição dos materiais à ação do intemperismo, e pode variar entre pontos relativamente próximos em área de mesma unidade taxonômica (LEÃO, 2010).

Caracterizando solos antropogênicos e não antropogênicos Campos et al. (2012) encontraram em área sob cultivo de milho textura variando entre arenosa e argilosa, enquanto Soares et al. (2015) estudando atributos físicos do solo nessas áreas sob manejo de pastagem constataram textura arenosa. Nas áreas de TPA temos como principal material de origem a alteração dos granitos rondonianos (CPRM, 2001). Porém, o relevo dessas áreas é bastante distinto, e favoreceu as variações texturais que são observadas em uma mesma Ordem de solo (REIS; FERREIRA, 2006).

A variabilidade espacial dos atributos do solo pode ser estudada pela análise geoestatística. Esta refere-se a um

¹Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Agronomia. CEP: 69800-000. Humaitá, Amazonas, Brasil.

²Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Ciência do Solo. CEP: 97105-090. Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. *Autor para correspondência: brunomantovanelli21@gmail.com.

conjunto de técnicas que são aplicadas a variáveis regionalizadas, e que definem a estrutura de dependência espacial e grau de correlação de cada variável em determinado local.

A estatística georreferenciada, ao proporcionar meios para que sejam efetuados os respectivos mapeamentos da área estudada, através de técnicas como krigagem, também permite caracterizar o comportamento dos atributos no solo em função das variações nos fatores de formação do solo: relevo, material de origem, tempo, clima, organismos (MARINS et al., 2008; SILVA et al., 2010; AQUINO et al., 2014).

Partindo da necessidade de se ter conhecimento do comportamento de dependência dos atributos no solo, este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial da textura em áreas de TPA's sob diferentes usos no sul do Amazonas.

MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de estudo localizam-se ao sul do Estado do Amazonas, onde o material de origem é proveniente da alteração de granitos rondonianos, do Pré-Cambriano Superior, sedimentos coluviais, depositados nas partes mais baixas da paisagem, e coberturas terciárias (BRASIL, 1978). O relevo é constituído por platôs com superfícies planas, sendo a zona de borda marcada por colinas e cristas alinhadas e localmente escarpadas, enquanto as áreas planas têm como principal característica a presença de uma superfície pediplanada (CPRM, 2001).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é tipo *Am*, tropical chuvoso, com um período seco de pequena duração, e temperaturas variando entre 25°C e

27°C, e com precipitações pluviais entre 2.250 e 2.750 mm, com chuvas concentradas no período de outubro a junho (BRASIL, 1978).

Foi realizado o mapeamento de três áreas de TPA sob diferentes usos. A área de TPA sob pastagem está localizada no município de Manicoré, sob as coordenadas geográficas de 7° 59' 22" de latitude sul e 61° 39' 51,2" de longitude oeste, com altitude média de 83 m (Figura 1) e vem sendo utilizada a sete anos com cultivo de braquiária (*Brachiaria brizanta*), pastejo extensivo e capacidade de 1 animal/ha.

As áreas de TPAs sob cacau e café, estão localizadas no município de Apuí, sob as coordenadas geográficas 7° 12' 05" de latitude sul e 59° 39' 35" de longitude oeste. A TPA sob cacau (*Theobroma cacao*) vem sendo cultivada há 14 anos, sendo os 6 primeiros com cultivo de arroz, milho, feijão e melancia e posteriormente com cacau e a TPA sob café (*Coffea canephora*) que vinha sendo cultivada há seis anos, primeiros dois anos sob cultivo de pastagem e nos últimos quatro anos com a cultura do café e prevalecendo até o momento. Os solos das três áreas estudadas foram classificados como um Paleudalf (SOIL SURVEY STAFF, 2014). Não foram utilizados nenhum tipo de maquinário na implantação e manutenção das áreas de cultivo.

Nestas foram estabelecidos grids com dimensões de 88 por 64 m, espaçamento regular de 8 m entre os pontos amostrais. Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento da malha nas profundidades 0,0-0,05 m totalizando 88 pontos amostrais por sistema de uso. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE).

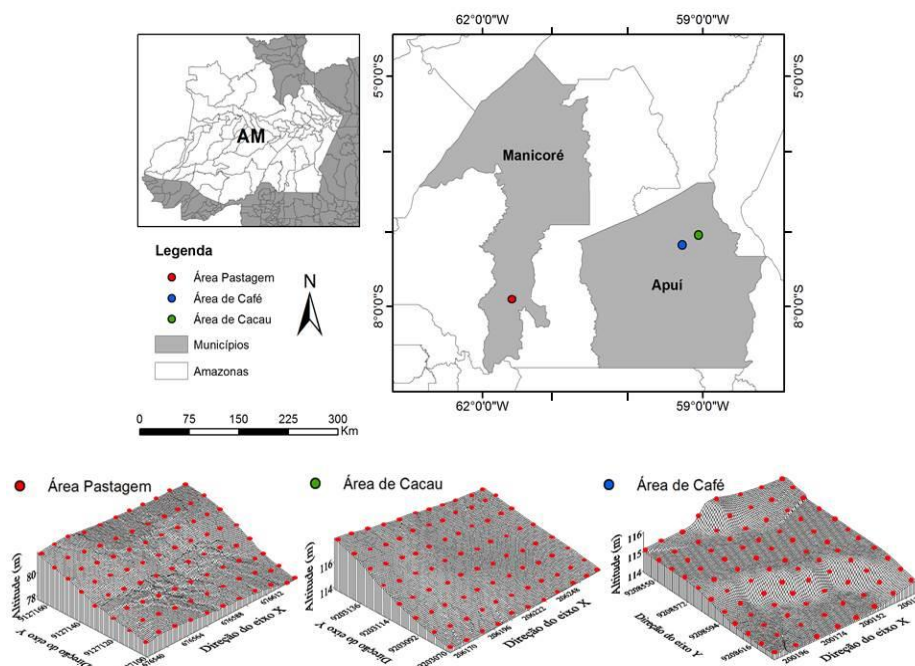


FIGURA 1 - Mapa de localização e modelo digital de elevação das áreas de estudo na região sul do Amazonas.

A composição granulométrica foi determinada pelo método da pipeta, utilizando solução de NaOH 0,1N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de baixa rotação por 16 h, seguindo método proposto pela Embrapa (2011). A fração argila foi separada por sedimentação, de acordo com a lei de Stokes, sendo a fração silte determinada por diferença. Os atributos granulométricos foram avaliados por meio de estatística descritiva calculando-se a média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, no software estatístico Minitab Release 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 equação (1) (VIEIRA et al., 1983).

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

onde:

$\gamma(h)$ = 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 .

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$, foram definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma, sendo:

(Co) = efeito pepita,

(C1) = patamar,

(Co + C1) = variância estrutural,

(a) = alcance.

O efeito pepita é o valor da semivariância para a distância $h = 0$ e representa o componente da variação ao acaso. O patamar é o valor da semivariância e o alcance é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis e indica a distância em que os atributos estão correlacionados.

A determinação da dependência espacial, foi classificada em fraca, média e moderada de acordo com a proposta de Cambardella et al. (1994) onde:

$GDE\% = (Co/Co+C1)/100$,

se $GDE \leq 25\%$ é considerado forte,

entre 25 e 75 % moderado e

acima de 75% fraco grau de dependência.

Para escolha do melhor modelo a ser utilizado, considera-se o R^2 (coeficiente de determinação).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de média e mediana dos atributos texturais, foram semelhantes, tendendo a uma distribuição simétrica (Tabela 1). Quando avaliada a média dos atributos texturais foi possível observar domínio da fração silte, nas áreas de cacau e café a qual corresponde a mais da metade da composição granulométrica. Santos et al. (2013) e Aquino et al. (2014) trabalhando com solos em áreas de TPAs no sul do Amazonas obtiveram resultados semelhantes, justificando essa grande dominância de silte em decorrência do alto grau de intemperização.

TABELA 1 - Estatística descritiva da textura do solo na profundidade de 0,0-0,05 m em área de TPA sob o uso de cacau, café e pastagem, no município de Manicoré (AM).

Estatística descritiva	Cacau			Café			Pastagem		
	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
	-----g.kg ⁻¹ -----								
Média	221,10	572,83	204,52	364,65	617,37	17,98	712,30	237,67	50,03
Mediana	217,50	577,00	205,50	367,44	614,87	17,13	711,87	237,94	49,12
¹ DP	49,59	32,01	44,06	34,70	35,03	6,99	42,36	42,07	20,38
² CV(%)	22,43	5,59	21,54	9,52	5,67	38,86	5,95	17,70	40,73
Assimetria	0,37	-0,54	-0,03	-0,13	-0,09	7,67	1,17	-0,66	0,43
Curtose	-0,30	1,18	0,10	-0,08	0,29	66,72	6,93	4,95	0,68
³ d	0,10*	0,09*	0,08*	0,05*	0,05*	0,26*	0,08*	0,07*	0,06*

¹DP = desvio padrão, ²CV = coeficiente de variação, ³d = teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov. *significativo a 5% de probabilidade de erro.

Na área de pastagem observou-se dominância da fração areia, tendendo este solo a textura arenosa (Tabela 1). A maior concentração de areia entre as frações granulométricas é uma característica comum das TPAs (SMITH, 1980), que pode ser atribuída à formação de material organomineral estável de tamanho equivalente à areia, resultante da combinação da prática do uso do fogo e

do depósito de material orgânico pelos ameríndios que ocupavam essas localidades (TEIXEIRA et al., 2009).

Verificou-se pelos valores do coeficiente de variação (CV) que somente a variável silte apresentou baixa variabilidade nas áreas de cacau e café, já as frações areia e argila em todas as áreas, juntamente com o silte na área de pastagem apresentaram moderada variabilidade. Vale ressaltar que as frações texturais são estáveis, ou seja, se

modificam pouco ao longo do tempo, apresentando baixo coeficiente de variação (SOARES et al., 2015).

Pelo teste de normalidade, todas as variáveis de todas as áreas foram significativas a 5% de probabilidade. Apesar da normalidade de dados não ser um dos requisitos para a aplicação da geoestatística, sua distribuição sem caudas longas é de suma importância para que não venha comprometer as estimativas via krigagem (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

Com base na classificação de Cambardella et al. (1994), de acordo com os valores obtidos, observou-se que nas áreas de cacau e café todas as variáveis apresentaram forte grau de dependência espacial para areia, silte e argila, com valores próximos de zero. Na área de pastagem verificou-se para silte e areia um grau de dependência moderado. Resultados semelhantes foram encontrados por Soares et al. (2015) em estudo de atributos físicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica.

Observou-se que a variável argila na área de pastagem não apresentou estrutura de dependência espacial conferindo a esse atributo efeito pepita puro (EPP), sendo o EPP a variabilidade não detectada pela amostragem (CAMBARDELLA et al., 1994).

Os modelos que mais se ajustaram aos parâmetros do semivariograma foi o exponencial e o esférico. De acordo os dados apresentados nos parâmetros dos semivariogramas os valores de validação cruzada (VC) e R^2 se apresentaram acima de 0,65 em quase todas as variáveis granulométricas, com exceção da argila sob manejo de café que apresentou R^2 inferior a 0,65 (Tabela 2). Neste contexto, valores acima de 0,6 além de assegurar um bom desempenho da interpolação pela krigagem ordinária, indicam afirmar que os semivariogramas apresentam ajustes que captam as estruturas de variação espacial do meio amostral (AZEVEDO, 2004).

TABELA 2 - Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais dos atributos granulométricos do solo em área de TPA sob uso de cacau, café e pastagem, na região de Manicoré (AM).

Parâmetros	Cacau			Café			Pastagem		
	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
Modelos	Exp.*	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.	Esf.	Esf.	Lin.
Efeito Pepita (C^0)	1,00	1,00	1,00	0,05	0,05	0,01	991	727	-
Patamar ($C^0 + C^1$)	2515,00	887,90	1893,00	1163	1314	6,46	1920,3	1843	-
Alcance (a)	42,00	23,48	28,50	26,2	18,75	17,2	47,2	34,6	-
1GDE (%)	0,04	0,11	0,05	0,004	0,003	0,15	48	60	EPP
$^2R^2$	0,895	0,893	0,906	0,89	0,98	0,418	0,77	0,65	-
3VC	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,89	0,91	-

*Exp. = exponencial, Esf. = esférico, Lin. = linear, 1GDE = grau de dependência espacial, $^2R^2$ = coeficiente de determinação e 3VC = validação cruzada.

O alcance estabelece o limite de dependência espacial entre as amostras (REICHARDT, 1985; TRANGMAR et al., 1985). Nota-se que assim, quanto maior o alcance, maior a variabilidade (Oliveira et al., 2013), logo obtendo os valores de alcance estes serão utilizados como intervalo entre as distâncias das unidades de solos a serem mapeadas (WEBSTER, 2000). Os maiores valores de alcances foram encontrados na área de pastagem e os menores na área sob café. Ressalta-se que os menores valores na área de café representam uma dependência maior e uma variabilidade menor dos atributos texturais nesta área. Esta estrutura de dependência e variabilidade está associada à ocorrência das áreas de terra preta em manchas descontínuas.

CONCLUSÕES

Através do estudo dos atributos texturais do solo observa-se que as áreas de cacau, café e pastagem

apresentaram respectivamente as texturas média, arenosa e argilosa.

A área sob manejo de pastagem, foi a que mais se diferenciou em relação às áreas de cacau e café, apresentando maiores alcance (a) e menor grau de dependência espacial (GDE), também apresentando EPP no atributo argila.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, R.E.; CAMPOS, M.C.C.; OLIVEIRA, I.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; SILVA, D.M.P.; SILVA, D.A. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v.30, n.4, p.988-997, 2014.
- AZEVEDO, E.D. *Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso*. 2004. 141p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola).

- Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 2004.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radam Brasil**, folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro. 561p. 1978.
- 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 science society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M.C.C. **Pedogeomorfologia aplicada à ambientes amazônicos do médio Rio Madeira**. 2009. 242p. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.
- CPRM. CENTRO DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Hidroclimatologia, geologia, recursos minerais, geomorfologia e unidades de paisagens**. Manaus. 93p. 2001.
- DANIELS, R.B.; NELSON, L.A. **Soil variability and productivity: future developments**. Future Developments in Soil Science Research, In. Future Development, p.279-291, 1987.
- EMBRAPA/CNPS. EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. 3ª ed. Brasília: 2013.
- EMBRAPA/CNPS. EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro. 212p. 2011.
- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press. 561p. 1989.
- LEÃO, M.G.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo sob cultivo de citros. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.1, p.121-131, 2010.
- LIMA, H.N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MELLO, J. Pedogenesis and pre-Colombian land use of "Terra Preta Anthrosols" ("Indian black earth") of Western Amazonia. **Geoderma**, Amsterdam, v.110, n.1, p.1-17, 2002.
- MARINS, A.C.; URIBE-OPAZO, M.A.; JOHANN, J.A. Estimadores new1 e new2 no estudo da dependência espacial da produtividade da soja e atributos físicos do solo em uma área comercial. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.16, n.2, p.133-143, 2008.
- MINITAB RELEASE 14.1. **Statistical Software**. US/Canada. 2000.
- NEVES JUNIOR, A.F. **Qualidade física de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central**. 2008. 94p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2008.
- NOGUEIRA, M.C.S. **Experimentação agrônômica I**. Piracicaba: Universidade de São Paulo. 463p. 2007.
- OLIVEIRA, I.A.; CAMPOS, M.C.C.; SOARES, M.D.R.; AQUINO, R.E.; MARQUES JUNIOR, J. NASCIMENTO, E.P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico, sob diferentes usos na região Sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.4, p.1103-1112, 2013.
- REIS, N.J.; FERREIRA, A.L. **Geologia e recursos minerais do estado do Amazonas**. Ministério de Minas e Energia, Manaus, 153p. 2006.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill. 486p, 1985.
- SANTOS, L.A.C.; CAMPOS, M.C.C.; AQUINO, R.E.; BERGAMIN, A.C.; SILVA, D.M.P.; MARQUES JUNIOR, J.; FRANÇA, A.B.C. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n. 4, p. 825-836, 2013.
- SILVA, F.W.R.; LIMA, H.N.; TEIXEIRA, W.G.; MOTTA, M.B.; SANTANA, R.M. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (Terra Pretas de Índio) na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.3, p.673-68, 2011.
- SMITH, N.J.H. Anthrosol and human carrying capacity in Amazonia. **Annals of the Association of American Geographers**, Madison, v.70, n.4, p.553-566, 1980.
- SOARES, M.D.R.; CAMPOS, M.C.C.; SOUZA, Z.M.; FRANCISCON, U.; CASTIONE, G.A.F. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob pastagem em Manicoré, AM. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v.58, n.4, p.434-441, 2015.
- SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 12ª ed. Washington: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2014. 614p.
- TEIXEIRA, W.G.; MARTINS, G.C. Soil physical characterization in Amazonian Dark Earths. LEHMANN, J. (Ed.). In: **Amazonian Dark Earths: origin, properties and management**. Springer Netherlands. cap.5, p.271-286, 2003.
- TEIXEIRA, W. G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, H.N.; WOODS, W. **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental. 2009.
- TRANGMAR, B.B.; YOST, R.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances Agronomy**, Amsterdam, v. 38, n. 1, p. 45-94, 1985.
- VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, 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. p. 319-344, 1980.
- WEBSTER, R. Is soil variation random? **Geoderma**, Amsterdam, v.97, n.3, p.149-163, 2000.