

## Semivariogramas escalonados para determinar a variabilidade de atributos químicos do solo em ambientes Amazônicos <sup>(1)</sup>

Ivanildo Amorim de Oliveira<sup>(2)</sup>; José Marques Júnior<sup>(3)</sup>; Milton Cesar Costa Campos<sup>(4)</sup>; Renato Eleotério de Aquino<sup>(2)</sup>; Daniel De Bortoli Teixeira<sup>(5)</sup>.

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos de Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM; <sup>(2)</sup> Mestrandos do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo – FCAV – UNESP, Jaboticabal, SP. E-mail: [ivanildoufam@gmail.com](mailto:ivanildoufam@gmail.com); <sup>(3)</sup> D.Sc., Prof. do Dep. de Solos e Adubos, FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP; <sup>(4)</sup> Professor do Colegiado de Agronomia do IEAA/UFAM, Humaitá – AM; <sup>(5)</sup> Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo – FCAV – UNESP, Jaboticabal, SP.

**RESUMO:** Devido à falta de informações sobre o comportamento espacial dos atributos em solos da região amazônica, este trabalho concentra-se em avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos do solo em diferentes manejos na região Sul do Estado do Amazonas, por meio do uso de semivariogramas escalonados. O estudo foi realizado ao sul do Estado do Amazonas, em área com: terra preta arqueológica (TPA), floresta, pastagem, agrofloresta e cana-de-açúcar. Nestas áreas foram estabelecidas malhas de 70,00 m x 70,00 m, com espaçamento regular de 10,00 x 10,00 m totalizando 64 pontos. Amostras de solos na profundidade de 0,0-0,20 e 0,40 – 0,60 m foram coletadas em cada ponto da malha estabelecida. Foram determinados os atributos químicos (pH em água, MO, P, K, Ca, Mg, SB, CTC, V% e H+Al). Os dados foram analisados utilizando-se técnicas de estatística descritiva e geoestatística. Todos os atributos estudados apresentaram estrutura de dependência espacial. As áreas de TPA e cana-de-açúcar apresentaram maior heterogeneidade dos atributos químicos do solo apresentando em média valores de alcance menor que os demais manejos estudados.

**Termos de indexação:** geoestatística, terra preta arqueológica, Sul do Amazonas.

### INTRODUÇÃO

A região sul do Amazonas se caracteriza por apresentar vários cenários, sendo estes naturais ou antrópicos. Dentro deste contexto, se destaca as áreas com terras pretas arqueológicas (TPA) abrangendo solos de alta fertilidade natural. Estes solos são encontrados em toda a região amazônica (Petersen et al., 2001; Lehmann et al., 2003; Glaser et al., 2004; Glaser, 2007; Woods et al., 2009), normalmente associados a corpos d'água ou em terrenos com maiores cotas de altitude, tendo como característica marcante a coloração escura e presença de fragmentos de cerâmica e/ou líticos incorporados a matriz dos horizontes superficiais (Kampf & Kern, 2005).

Contrastando as características destes solos, existem solos adjacentes poucos férteis, que

cobertos por florestas exercem um importante papel na melhoria da qualidade nutricional e características físicas dos atributos de um solo.

Outros agrossistemas como os sistemas agroflorestais, cultivos de pastagem e cana-de-açúcar também estão presentes na região. No entanto, ainda não existem estudos que destacam estes sistemas de manejos e, principalmente, a relação destes com a variabilidade espacial dos atributos do solo.

Dentro deste contexto, a grande dificuldade encontrada nos estudos de variabilidade espacial do solo tem sido a determinação do espaçamento ideal de amostragem, o que, em algumas situações, pode influenciar na determinação do comportamento dos atributos do solo (Souza et al., 2006).

Estudos que geram resultados para auxiliar na gestão da fertilidade do solo nestes sistemas de manejos no estado do Amazonas são de grande importância. Assim, objetivou-se com este estudo utilizar semivariogramas escalonados para a determinação da variabilidade espacial de atributos químicos do solo em cinco ambientes na região Sul do Amazonas.

### MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em propriedades rurais, localizada ao sul do Estado do Amazonas, nas regiões de Manicoré, AM e Humaitá, AM, sendo realizado o mapeamento de cinco áreas com diferentes manejos: TPA (A1), floresta (A2), pastagem (A3) agrofloresta (A4) e cana-de-açúcar (A5).

Em seguida em cada área foi estabelecido uma malha de 70m x 70 m onde o solo foi amostrado nos pontos de cruzamento da malha. Foi realizada sob cada ponto amostral a coleta de amostras de solos nas profundidades 0,0-0,20 e 0,40-0,60 m para determinação dos atributos químicos.

Foram realizadas as seguintes análises químicas nas amostras de solo coletadas: Cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo disponível (P) extraídos por Mehlich-1. A acidez potencial (H+Al) foi extraída com solução tamponada a pH 7,0 de acetato de cálcio utilizando-se metodologia proposta pela Embrapa (1997). Com base nos resultados das

análises químicas, foram calculadas a soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%).

O pH foi determinado potenciométricamente utilizando-se relação 1:2,5 de solo: em água (Embrapa, 1997). O carbono total foi determinado pelo método de Walkley-Black modificado por Yeomans & Bremner (1988). A matéria orgânica, por sua vez, foi estimada com base no carbono orgânico (C.O) (Equação 1).

$$M.O. = C.O. \times 1,724 \quad (1).$$

A variabilidade do solo foi, primeiramente, avaliada pela análise exploratória dos dados através da estatística descritiva. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (Minitab 14, 2000).

A análise da dependência espacial foi feita por meio da geoestatística. Sob teoria da hipótese intrínseca o semivariograma experimental será estimado pela equação (2):

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

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  $h$ .

Com base nos parâmetros dos semivariogramas experimentais dos atributos do solo foi construído o semivariograma escalonado. Os semivariogramas experimentais foram escalonados através da divisão das semivariâncias pela variância estatística (Vieira et al., 1997). Com as semivariâncias adimensionalizadas, o efeito pepita expressa diretamente, em porcentagem do patamar (semivariância total), o componente do acaso da estrutura de variância.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Grande parte dos atributos dos manejos estudados apresentaram valores próximos da média e mediana (Tabela 1), indicando distribuição próxima a normal, a qual é considerada aceitável em estudos geoestatísticos (Gonçalves & Folegatti, 2002). Exceção para alguns atributos que apresentaram esses valores um pouco afastados, indicando uma distribuição assimétrica sendo estes confirmados pelos maiores valores de assimetria, evidenciando que estes valores são influenciados por valores extremos.

Os valores de CV para a classificação de variáveis do solo indicam baixa variabilidade (CV < 12 %) (Warrick & Nielsen, 1980) para o pH em todos os manejos e nas duas profundidades. Observa-se, que agrofloresta e pastagem apresentam uma maior quantidade de variáveis com CV alto, o que indica alta variabilidade destes atributos nestas áreas (Tabela 1). Contudo, a medida estatística CV permite comparar a variabilidade entre amostras de variáveis com unidades diferentes, porém não

permite analisar a variabilidade espacial dos atributos do solo nem seu padrão espacial (Camargo et al., 2008).

Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov indicaram normalidade para alguns atributos nos manejos estudados. No entanto, grande parte das variáveis não apresentou normalidade dos dados nos diferentes manejos, sendo a ocorrência nos manejos de TPA, agrofloresta e cana-de-açúcar principalmente na profundidade de 0,0 – 0,20 m. Apesar da normalidade dos dados não ser uma exigência da geoestatística, é importante que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (Isaaks & Srivastava, 1989).

Os atributos químicos dos manejos estudados apresentaram dependência espacial, sendo este comportamento expresso pelos modelos de semivariogramas ajustados (Figura 1). O modelo esférico foi predominante para TPA, floresta, agrofloresta e pastagem. Para o cultivo de cana-de-açúcar, o modelo exponencial foi o que melhor se ajustou aos dados. De acordo com Carvalho et al. (2002) o modelo matemático esférico é o que predomina nos trabalhos em ciência do solo.

O grau de dependência espacial (GDE) para os semivariogramas escalonados, expresso pela razão entre o efeito pepita ( $C_0$ ) e o patamar ( $C_0 + C_1$ ) (Cambardella et al., 1994), foi classificado como moderado para todos os manejos estudados (Figura 1), exceto para o manejo cana-de-açúcar na profundidade 0,40 – 0,60 m o qual apresentou GDE forte.

A área de floresta apresentou valores de alcance da estrutura de variabilidade espacial dos atributos químicos superiores aos observados na área de TPA, pastagem, agrofloresta e cana-de-açúcar, indicando uma distribuição mais homogênea destes atributos na área de floresta (Figura 1). Estes valores de alcance fornecem informações a respeito da heterogeneidade da distribuição espacial em relação às propriedades estudadas em cada sistema de manejo (Trangmar et al., 1985). Portanto, os menores valores de alcance encontrados para as áreas de TPA e cana-de-açúcar indicam maior variabilidade dos dados.

## CONCLUSÕES

A área de TPA e cana-de-açúcar apresentaram maior heterogeneidade dos atributos químicos na profundidade 0,0 – 0,20 m.

Os resultados podem auxiliar futuros estudos sobre mapeamento da variabilidade espacial do solo, especialmente em TPA, floresta, pastagem, agrofloresta e cana-de-açúcar visando à preservação ou uso sustentável destes locais.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEAM e UFAM pelo fomento e apoio, respectivamente.

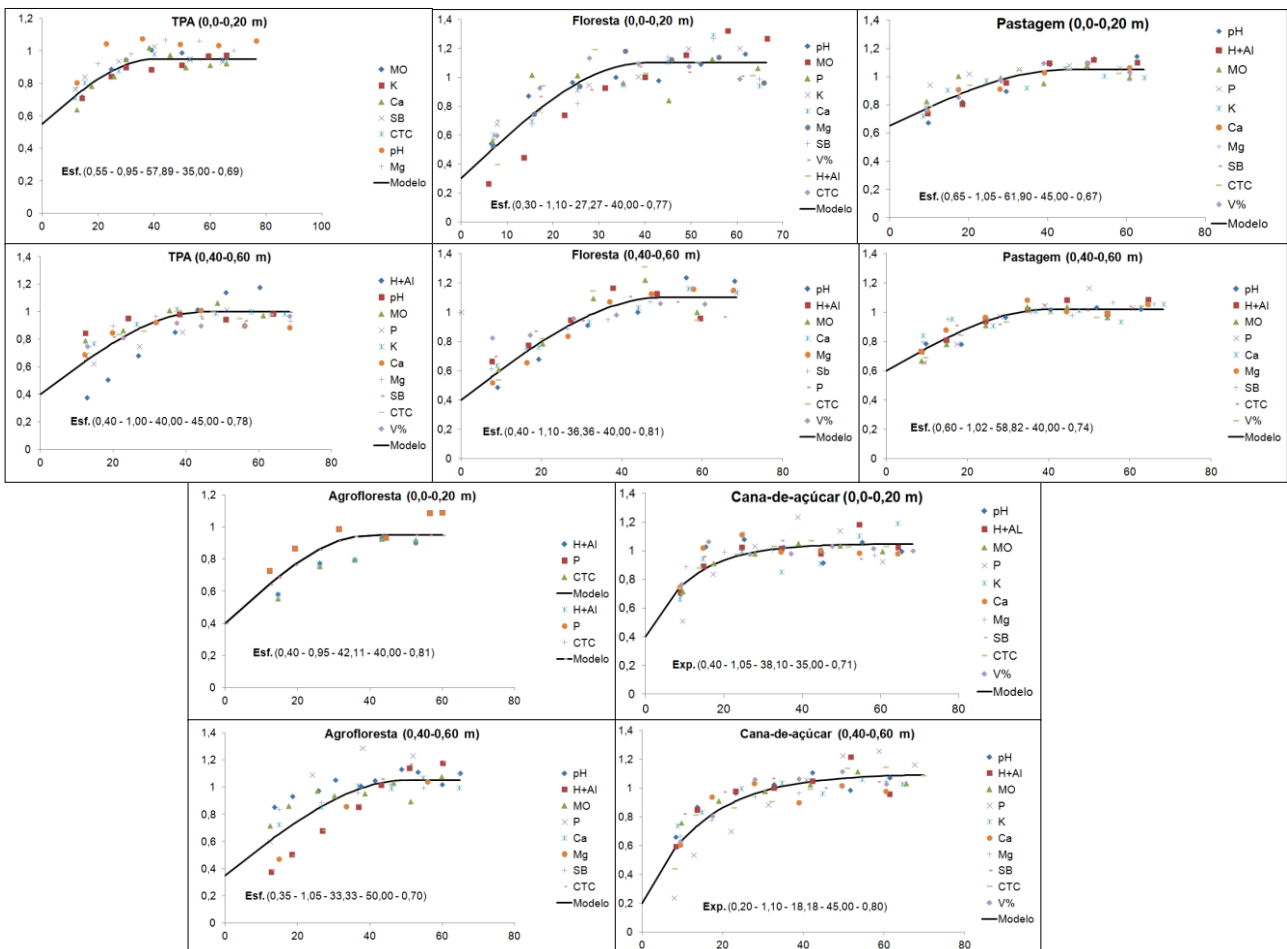
## REFERÊNCIAS

- CAMARGO, L. A. ; JMARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; HORVAT, R. A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas do relevo. II - Correlação espacial entre mineralogia e agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:2279-2288, 2008
- 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 Soil. *Soil Science Society of America Journal*, 58:1501-1511, 1994.
- CARVALHO, M.; SORATTO, R. P.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos físicos em um LATOSSOLOVERMELHO Distrófico sob preparo convencional em Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. *Acta Scientiarum*, 24:1353-1361, 2002.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 362:187–196, 2007.
- GLASER, B., GUGGENBERGER, G., ZECH, W. Identifying the pre-Columbian anthropogenic input on present soil properties of Amazonian Dark Earths (Terra Preta). In: *Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time*. Springer, Berlin, p. 145-158, 2004.
- GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. Correlação espacial entre retenção de água e textura do solo, para fins de manejo de irrigação. *Engenharia Agrícola*. 22(3):296–303, 2002.
- ISAACS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- KAMPF, N.; KERN, D.C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: *Tópicos em Ciência do solo*. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.277-320, 2005.
- LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (Eds.), *Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 523p. 2003.
- MINITAB RELEASE 14.1. Statistical Software. US/ Canadá. 2000.
- PETERSEN, J. B.; NEVES, E. G.; HECKENBERGER, M. J. Gift from the past. Terra preta and prehistoric Amerindian occupation in Amazonia. In: *Unknown Amazonia*. The British Museum Press, p.86-105. 2001.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMPOS, M. C. C. Amostragem de solo para determinação de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo. *Científica*. 34:249-256, 2006.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, 38:54-94, 1985.
- VIEIRA, S.R.; TILLOTSON, P.M.; BIGGAR, J.W.; NIELSEN, D.R. Scaling of semivariograms and the kriging estimation of field-measured properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 21:525-33, 1997.
- WOODS, W. I., TEIXEIRA, W. G., LEHMANN, J.; STEINER, C.; WINKLERPRINS, A. M. G. A., REBELLATO, L. (Eds.), *Amazonian Dark Earths: Wim Sombroeks Vision*. Springer. 2009. 502p.
- 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*. 19:1467-1476, 1988.

**Tabela 1** - Estatística descritiva dos atributos químicos do solo em ambientes amazônicos.

Parâmetros	Atributos químicos																			
	Profundidade 0,0 – 0,20 m									Profundidade 0,40 – 0,60 m										
	pH	H+Al	MO	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	pH	H+Al	MO	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
<b>TPA</b>																				
Média	6,27	28,29	68,19	309,4	1,72	166,02	29,45	197,19	225,49	87,20	5,90	30,55	24,11	252,4	0,74	75,90	14,01	92,88	123,44	74,50
Mediana	6,20	29,50	68,00	298,5	1,40	164,50	30,00	195,20	227,65	86,80	5,90	31,00	22,00	238,0	0,50	73,00	13,00	87,50	118,60	74,20
CV	4,71	23,46	19,86	27,93	82,30	16,10	22,04	14,80	12,30	4,11	5,30	19,57	22,19	37,64	141,74	22,55	29,68	25,26	18,48	9,00
Ass.	0,58	-0,08	-0,26	0,53	4,66	-0,51	0,27	-0,46	-0,61	-0,20	0,66	0,03	0,67	2,46	0,67	1,62	0,85	0,94	-0,59	-0,59
d	0,09 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>*</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>*</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>*</sup>	0,15 <sup>*</sup>	0,31 <sup>*</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>*</sup>	0,13 <sup>*</sup>	0,12 <sup>*</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
<b>Floresta</b>																				
Média	3,97	74,92	18,66	6,09	1,66	4,77	2,52	8,94	83,86	11,11	4,11	59,55	14,05	6,50	1,39	3,44	1,98	6,81	66,36	10,34
Mediana	3,90	88,00	20,50	5,50	1,50	3,00	2,00	7,05	93,95	8,40	4,10	52,00	11,50	6,00	1,20	3,00	2,00	5,90	60,50	9,00
CV	4,79	29,42	35,29	36,13	67,25	101,96	50,58	69,08	26,16	68,34	3,18	24,23	38,73	27,41	56,24	54,58	59,21	52,41	23,06	48,11
Ass.	0,74	-0,21	-0,28	0,49	2,97	4,50	1,80	3,27	-0,37	2,99	-0,16	0,87	0,90	1,06	1,61	2,76	2,64	2,79	0,86	3,11
d	0,11 <sup>*</sup>	0,15 <sup>*</sup>	0,13 <sup>*</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>*</sup>	0,28 <sup>*</sup>	0,15 <sup>*</sup>	0,27 <sup>*</sup>	0,19 <sup>*</sup>	0,26 <sup>*</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>*</sup>	0,20 <sup>*</sup>	0,14 <sup>*</sup>	0,10 <sup>*</sup>	0,16 <sup>*</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>*</sup>	0,18 <sup>*</sup>	0,20 <sup>*</sup>
<b>Pastagem</b>																				
Média	4,30	61,13	27,47	4,61	1,71	10,27	4,64	16,62	77,74	21,99	4,29	51,52	15,92	2,62	0,69	4,69	2,34	7,72	59,24	13,14
Mediana	4,25	64,00	27,00	4,00	1,30	8,00	4,00	13,45	77,80	17,35	4,30	52,00	15,00	3,00	0,50	4,00	2,00	6,40	56,30	11,10
CV	6,09	22,23	13,59	25,23	67,30	64,06	38,85	51,38	10,40	55,81	4,59	19,99	25,84	44,25	79,20	68,41	52,79	60,10	17,36	60,76
Ass.	1,38	-0,48	0,43	1,82	1,58	1,69	0,78	1,39	-0,34	1,32	1,14	1,15	1,46	0,78	2,54	2,43	1,44	2,19	2,18	2,48
d	0,11 <sup>*</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>*</sup>	0,16 <sup>*</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>*</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>*</sup>	0,13 <sup>*</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>*</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>*</sup>	0,23 <sup>*</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>*</sup>	0,23 <sup>*</sup>	0,22 <sup>*</sup>
<b>Agrofloresta</b>																				
Média	3,78	189,52	20,58	8,19	1,11	2,39	1,36	4,86	194,37	2,52	3,81	211,86	10,66	4,53	0,64	1,19	1,02	2,84	214,70	1,33
Mediana	3,80	185,00	20,50	8,00	1,10	2,00	1,00	4,15	191,40	2,20	3,80	205,00	10,50	5,00	0,60	1,00	1,00	2,60	208,75	1,25
CV	1,53	9,26	15,48	18,96	21,78	23,11	35,58	23,73	8,98	26,24	1,23	8,80	22,38	31,69	16,43	36,37	12,31	19,20	8,76	17,30
Ass.	-0,48	-0,51	0,79	0,57	0,59	1,03	0,60	0,67	-0,51	0,75	0,23	-0,40	1,02	-0,25	0,95	2,23	8,00	2,96	-0,41	2,16
d	0,06 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>*</sup>	0,24 <sup>*</sup>	0,18 <sup>*</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>*</sup>	0,27 <sup>*</sup>	0,11 <sup>*</sup>
<b>Cana-de-açúcar</b>																				
Média	4,43	89,64	30,48	6,36	0,49	14,58	8,06	23,13	112,77	21,06	4,06	126,66	8,69	5,41	0,40	3,63	2,16	6,18	132,83	4,83
Mediana	4,50	80,00	30,50	7,00	0,50	15,00	8,00	23,30	107,50	21,6	4,10	121,00	8,00	5,00	0,40	3,00	2,00	5,40	126,40	4,27
CV	3,39	23,52	20,52	24,64	22,98	28,63	35,21	29,90	16,27	32,44	1,75	15,35	28,56	20,51	23,31	41,56	45,42	40,16	13,94	54,72
Ass.	-0,85	2,96	-0,05	-0,06	0,02	0,07	0,75	0,33	3,30	-0,12	0,82	1,03	1,97	0,57	0,31	3,49	3,02	3,40	1,42	3,96
d	0,05 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>*</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>*</sup>	0,05 <sup>*</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>*</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>*</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>*</sup>	0,23 <sup>*</sup>	0,26 <sup>ns</sup>

TPA = Terra preta arqueologia; CV = Coeficiente de Variação; Ass. = Coeficiente de Assimetria; d = teste de normalidade, \*significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.



**Figura 1** - Parâmetros e modelos dos semivariogramas escalonado ajustados aos atributos químicos do solo em ambientes amazônicos [modelo (efeito pepita - patamar –GDE -  $R^2$  – alcance)]. Esf. = Esférico; Exp. = Exponencia.; GDE = Grau de dependência espacial.