



Caracterização espacial de atributos de um Argissolo Vermelho-Amarelo da Floresta Amazônica no Estado do Acre⁽¹⁾

Paulo Guilherme Salvador Wadt⁽²⁾, **Daniela Popim Miqueloni**⁽³⁾; **Lucielio Manoel da Silva**⁽⁴⁾; **Raimundo Cosme de Oliveira Junior**⁽²⁾; **Joziane Silva Evangelista**⁽⁵⁾; **Lúcia Helena de Oliveira Wadt**⁽²⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do projeto MAPCAST (02.13.05.001.00.03.11) financiado pela Embrapa.

⁽²⁾ Pesquisador da Embrapa; raimundo.oliveira-junior@embrapa.br; lucia.wadt@embrapa.br; paulo.wadt@embrapa.br; ⁽³⁾ Doutorando do programa de Pós-Graduação em produção Vegetal da Ufac; Universidade Federal do Acre, Rio Branco Acre; danimique@yahoo.com.br. ⁽⁴⁾ Analista de Pesquisa da Embrapa. Rio Branco, Acre; lucielio.silva@embrapa.br. ⁽⁵⁾ Bolsista do CNPq/Embrapa. Rio Branco, Acre; joziane.gestorambiental@gmail.com.

RESUMO: Informações sobre a variabilidade espacial dos atributos do solo permitem conhecer e analisar os processos bio-físico-químicos envolvidos no equilíbrio do sistema. Com o intuito de caracterizar a variabilidade espacial de atributos do solo na Amazônia Sul-ocidental, amostras de solo foram coletadas, georreferenciadas e analisadas por meio da geoestatística. De forma geral, o solo estudado é de baixa fertilidade. No entanto, a análise de agrupamento indicou a formação de grupos de solo com características diferenciadas dentro da área. Conclui-se, assim, que os atributos do solo possuem dependência espacial e a formação de grupos dentro da área analisada sugere pontos com características específicas relacionadas ao relevo.

Termos de indexação: geoestatística, características edáficas, floresta tropical.

INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira ocupa hoje cerca de três milhões de quilômetros quadrados e abrange a maior biodiversidade em floresta tropical do mundo (Peres et al., 2010; FAO, 2006). Conhecer seus recursos naturais é de extrema importância, pois possibilita sua utilização e conservação de forma racional e otimizada.

Os solos desta região são considerados de fertilidade média a alta em relação à parte Oriental da Amazônia, com o equilíbrio biogeoquímico mantendo as condições necessárias para o desenvolvimento da vegetação natural. Além disso, informações sobre o comportamento espacial dos atributos dos solos na região amazônica são escassos (Oliveira et al., 2015). Neste contexto, a geoestatística permite analisar a continuidade espacial destes atributos, auxiliando na avaliação e compreensão dos processos naturais envolvidos (Lima et al., 2015), pois análises simples de solo

contém poucas informações acerca dos processos bioquímicos do solo (Cambardella et al., 1994).

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial de atributos do solo em ambiente florestal da Amazônia Ocidental.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo situa-se nas coordenadas 19L entre as Latitudes 565750 e 566150 m e as Longitudes 8803350 e 8803850 m (UTM SAD 69), altitude média de 250 m, município de Xapuri, AC, na Amazônia Ocidental.

Foi realizada amostragem sistemática do solo a partir de malha regular (gride) de 100 x 60 m na profundidade de 0-0,20 m, com excessão das amostras para determinação da densidade, que foram coletadas na profundidade de 0,08 a 0,13 m. Ao todo foram coletadas 60 amostras. O tipo de solo de onde as amostras foram coletadas é o Argissolo Vermelho-Amarelo Tb aluminico.

Nessas amostras realizou-se análises dos atributos químicos e físicos: AF: areia fina; AG: areia grossa; Al: alumínio; Arg: argila; C: carbono; Ca: cálcio; CTC: capacidade de troca catiônica; Cu: cobre; DensS: densidade do solo; Fe: ferro; H+Al: acidez potencial; K: potássio; m%: saturação por alumínio; Mg: magnésio; Mn: manganês; MO: matéria orgânica; N: nitrogênio; Na: sódio; P: fósforo; pH: potencial hidrogeniônico; Poro%: porosidade; SB: soma de bases; Silte; t: capacidade de troca catiônica efetiva; V%: saturação de bases; Zn: zinco. Todas as análises foram realizadas conforme metodologias descritas no manual da Embrapa (Embrapa, 2011.)

A estatística descritiva e a análise de agrupamento foram processadas no programa Statística 7.0, sendo a última por meio do agrupamento hierárquico baseado no método de Ward e na distância Euclidiana para as variáveis pH, MO, P, SB, t, V, m, Argila, densidade do solo e porosidade, por conterem mais informação agregada da análise de solo. A análise espacial foi processada pelo programa GS+ 7.0, por krigagem em blocos de 2x2 e ajustados segundo o melhor coeficiente de determinação e menor soma de quadrado dos resíduos. A classificação do



coeficiente de variação adotada foi a proposta por Warrick & Nielsen (1980) para todas as variáveis.

Para análise do índice de dependência espacial (IDE), foi utilizada a relação $C/(C_0+C)$ e os intervalos propostos por Zimback (2001) que considera a dependência espacial fraca ($IDE < 25\%$), moderada ($25\% \leq IDE < 75\%$) e forte ($IDE \geq 75\%$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área amostrada possui relevo plano a suave ondulado, com menos de 5% de declividade (**Figura 1**). Os valores médios, desvio padrão e o coeficiente de variação das variáveis podem ser observados na **Tabela 1**.

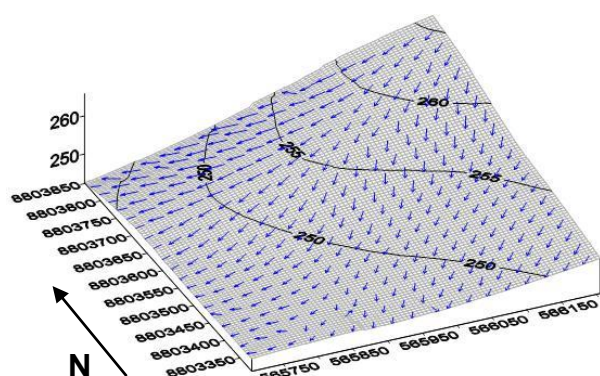


Figura 1 – Modelo de elevação da área amostrada. Setas em azul indicam a direção do escoamento superficial (Coordenadas UTM 19L, SAD 69).

De forma geral, o solo foi classificado quanto à textura como franco-siltoso, com baixa fertilidade e alta saturação por Al, o que também foi observado por Oliveira et al. (2015) em área de vegetação nativa. Sob estas condições, no entanto, a ciclagem mantém equilíbrio para a vegetação e manutenção dos recursos naturais (Lima et al., 2014).

Mais da metade das variáveis apresentaram série mais homogênea, isto é, CV menor que 35% (Warrick & Nielsen, 1980), com Fe, porosidade e SB baixos, apresentando menos de 12% de variação. Silte, MO, areia grossa, Ca e Zn apresentaram série considerada menos homogênea, ou seja, acima de 60% de CV, com as quatro últimas apresentando valores acima de 100%, o que indica que o desvio padrão é maior que a média, sugerindo grande variação destas características na área estudada. Lima et al. (2014) relacionam alta variabilidade com o manejo do solo, no entanto, para as condições naturais, tal variação pode estar associada ao material de origem do solo, bem como as pedofomas, ainda que suaves, da área (Cambardella et al., 1994).

Mesmo com cobertura vegetal e classe de solo homogêneas, houve dependência espacial para as características analisadas, também indicando variabilidade, exceto para cobre, densidade e porosidade do solo (efeito pepita) (**Tabela 1**). No entanto, estudos mostram que, comparativamente à sistemas antrópicos, a variabilidade em ambiente natural é menor (Lima et al., 2014; Oliveira et al., 2015).

Cerca de dois terços das variáveis tiveram o ajuste, respectivamente, dos modelos esférico e gaussiano que segundo Oliveira et al. (2015) o primeiro é prevalente em estudos de ciências do solo. Landim (2006) afirma que o modelo esférico é o mais generalizado, sendo amplamente ajustado às diversas variáveis e o gaussiano indica pequenas variabilidades a curtas distâncias e mudanças de valores mais suavizadas (Vieira, 2000). Já o exponencial representa mudanças erráticas. Neste contexto, o modelo esférico foi ajustado para as variáveis físicas areia fina e densidade de partículas, às químicas Al, Mg, N, Na, carbono, matéria orgânica, H+Al e CTC. As variáveis físicas areia grossa e silte, os macronutrientes P e Ca e as variáveis calculadas m%, pH, SB e V% tiveram ajuste pelo modelo gaussiano. Apenas a argila, K, t e os micronutrientes Fe e Mn tiveram o modelo exponencial ajustado. As demais variáveis não apresentaram dependência espacial (Vieira, 2000).

A dependência espacial foi alta para um terço das variáveis e média para as demais (exceto para aquelas sem ajuste), evidenciando que o gride de amostragem foi suficiente para captar sua dependência espacial (Lima et al, 2014). Além disso, a dependência espacial forte está correlacionada a fatores intrínsecos como clima, relevo e material de origem (Cambardella et al., 1994). Os maiores alcances, acima de 900 m distância, se concentram nas variáveis físicas silte e areia grossa, Na e t. Os micronutrientes apresentaram alcances de 276 a 490 m e as demais variáveis oscilaram entre 162 a 783 m. Em floresta amazônica, Oliveira et al. (2015) observaram alcances da ordem de 40 m, muito relacionados ao gride amostral. Apenas um quarto das variáveis apresentou ajuste menor que 80%, indicando alto grau de ajuste dos modelos.

Com base nestes resultados, a análise de agrupamento, considerando as variáveis mais abrangentes, isto é, com maior teor de informações, pH, MO, P, SB, t, V, m, argila, densidade do solo e porosidade, indicou a formação de grupos associados ao relevo (**Figuras 2 e 3**), o que também foi observado por Lima et al. (2014).

De forma geral, a variabilidade espacial esteve relacionada a sua presença ao longo da paisagem. O grupo 1, caracterizado por maior porosidade e t, está na parte mais baixa da área (**Tabela 2**). O grupo 2, no terço inferior, possui saturação por alumínio elevada. Os grupos 3 e 4, na parte central, se caracterizam pela maior fertilidade, com maiores teores de MO e SB, além da argila. O grupo 5, no terço superior juntamente com o grupo 6, possui menores teores de MO e t. Tais resultados sugerem, apesar da cobertura vegetal, acúmulo de sedimentos na parte mais baixa da área e perdas na área de maior elevação o que influencia na dinâmica biogeoquímica do solo.

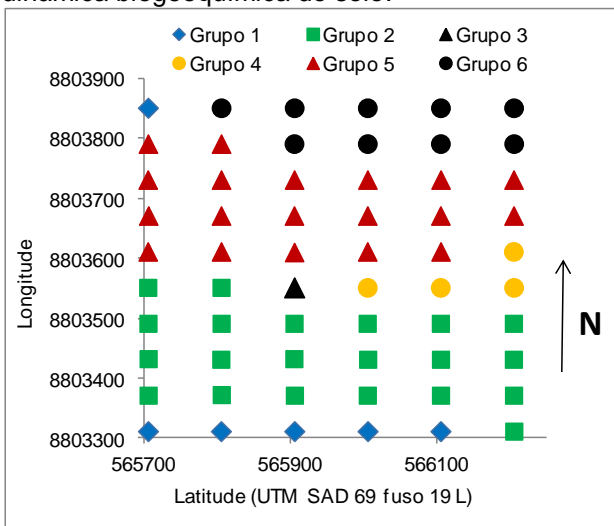


Figura 2 – Distribuição dos pontos agrupados segundo sua localização espacial.

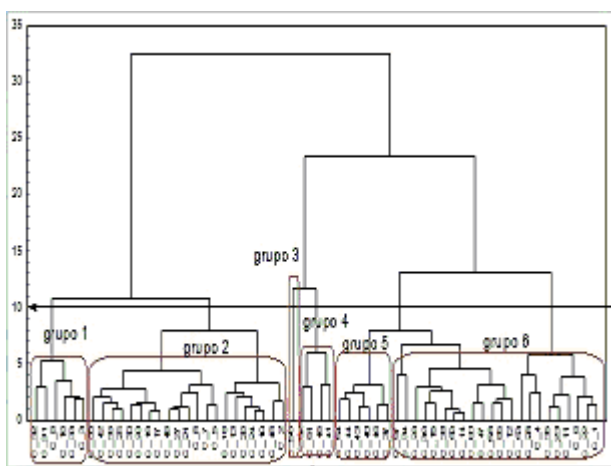


Figura 3 – Agrupamento das amostras de solo com base nos atributos pH, MO, P, SB, t, V, m, Argila, densidade do solo e porosidade (método de Ward com base na distância Euclidiana).

CONCLUSÕES

Os atributos do solo sob floresta apresentaram dependência espacial.

A formação de grupos dentro da área analisada sugere pontos com características específicas de acordo com sua posição no relevo.

REFERÊNCIAS

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*, 58:1501-1511, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2011. 230p.

FAO, 2006. Forest Resources Assessment 2005: Progress Towards Sustainable Forest Management. FAO Forestry Paper 147. FAO, Rome, Italy.

LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. *Terræ Didática*, 2(1):19-33, 2006.

LIMA, G.C.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, M. S. de. CURTI, N.; SILVA, M. A. da; OLIVEIRA, A. H. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(5): 517-526, 2014.

OLIVEIRA, I. A. de; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JUNIOR, J.; AQUINO, R. E. de; TEIXEIRA, D. de B.; SILVA, D. M. P. da. Use of scaled semivariograms in the planning of soil chemical proprieties in Southern Amazonas, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(1): 31-39, 2015.

PERES, C. A.; GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; ZUANON, J.; MICHALSKI, F.; LEES, A.C.; VIEIRA, I.C. G.; MOREIRA, F. M. S.; FEELEY, K. J. Biodiversity conservation in human-modified Amazonian forest landscapes. *Biological Conservation*, 143:2314-2327. 2010

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

WARRICK, A. W. & NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical proprieties in the field. In: HILLEL, D. *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.

ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.



Tabela 1 – Média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) e Modelos e estimativas dos semivariogramas ajustados para todas as variáveis em relação à análise de solo.

	Média	DP	CV%	Modelo	C ₀	C ₀ +C	a	C/(C ₀ +C)	S r ²		
AF ¹	395,01	107,96	27,33	Esf	2600	9493,2	175	0,726	0,925		
AG ¹	73,03	89,03	121,90	Gaus	0,450	4,909	950,90	0,908	0,989		
Al ²	1,86	0,71	38,05	Esf	0,2118	0,4856	335	0,564	0,940		
Arg ¹	128,28	32,50	25,34	Exp	582	1285	783	0,547	0,873		
C ¹	6,26	2,63	42,00	Esf	2,72	6,239	242	0,564	0,695		
Ca ²	0,13	0,27	207,34	Gaus	0,313	1,906	649,52	0,836	0,972		
CTC ²	4,16	0,90	21,53	Esf	0,437	0,875	407	0,501	0,758		
Cu ³	0,76	0,25	32,27	----- efeito pepita -----							
DensS ⁴	1,38	0,09	6,36	----- efeito pepita -----							
Fe ³	127,30	45,63	35,85	Exp	260	2261	276	0,885	0,854		
H+Al ²	3,58	0,88	24,74	Esf	0,28	0,882	395	0,683	0,921		
K ³	55,40	16,51	29,80	Exp	0,0055	0,0716	163,2	0,927	0,425		
m%	74,53	15,96	21,41	Gaus	120,6	272,8	451,2	0,558	0,979		
Mg ²	0,30	0,13	43,26	Esf	0,0909	0,1828	545	0,503	0,901		
Mn ³	46,57	47,71	102,44	Exp	0,049	1,407	400,8	0,965	0,921		
MO ¹	10,76	4,52	42,00	Esf	0,0735	0,148	304	0,503	0,623		
N ¹	0,84	0,20	24,01	Esf	0,0001	0,04103	214,106	0,998	0,050		
Na ³	2,40	0,67	27,87	Esf	0,0490	0,925	962	0,947	0,979		
P ³	5,24	1,13	21,65	Gaus	0,0329	0,0659	691,09	0,501	0,996		
pH _{H2O}	4,49	0,29	6,40	Gaus	0,0534	0,1278	763,83	0,582	0,955		
Poros%	45,12	3,92	8,69	----- efeito pepita -----							
SB ²	0,58	0,39	66,11	Gaus	0,0841	0,2642	607,95	0,682	0,981		
Silte ¹	403,67	103,48	25,64	Gaus	6930	18979	937,04	0,635	0,954		
t ²	2,45	0,58	23,56	Exp	0,2057	0,4124	912	0,501	0,866		
V%	14,28	7,28	50,99	Gaus	0,0709	0,2988	547,33	0,763	0,969		
Zn ³	3,57	18,02	504,71	Gaus	0,400	1,241	489,65	0,678	0,946		

1 g.kg⁻¹; 2 cmol_c.dm⁻³; 3 mg.dm⁻³; 4 Mg.m⁻³. Modelos: Gaus = gaussiano; esf = esférico; C₀ = Efeito Pepita; C₀+C = patamar; a = alcance (m); C/(C₀+C) = Índice de dependência espacial (IDE); S r² = coeficiente de determinação do semivariograma; SQR = Soma dos quadrados dos resíduos; EP = erro padrão da validação cruzada; VC r = coeficiente de regressão da validação cruzada. Variáveis: AF: areia fina; AG: areia grossa; Al: alumínio; ARG: argila; C: carbono; Ca: cálcio; CTC: capacidade de troca catiônica; Cu: cobre; DensS: densidade do solo; Fe: ferro; H+Al: acidez potencial; K: potássio; m%: saturação por alumínio; Mg: magnésio; Mn: manganês; MO: matéria orgânica; N: nitrogênio; Na: sódio; P: fósforo; pH: potencial hidrogeniônico; Poros%: porosidade; SB: soma de bases; Silte: t: capacidade de troca catiônica efetiva; V%: saturação de bases; Zn: zinco.

Tabela 2 – Média e coeficiente de variação (CV) das variáveis em relação à análise de solo para os grupos formados.

	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4		Grupo 5		Grupo 6	
	Média	CV	Média	CV	Média	Média	CV	Média	CV	Média	CV	
Arg ¹	161,3	26,0	131,0	15,9	172,5	154,5	12,8	121,9	24,4	97,0	30,3	
DensS ⁴	1,3	1,7	1,4	3,7	1,3	1,3	6,7	1,5	4,8	1,3	4,0	
m%	85,2	4,2	85,7	4,4	0,0	54,3	41,5	68,5	9,2	71,3	17,0	
MO ¹	11,3	50,6	10,3	26,0	23,9	19,3	27,1	9,6	35,4	8,8	35,0	
P ³	5,3	13,2	4,7	17,7	6,4	8,1	4,4	5,4	16,2	4,8	14,2	
pH _{H2O}	4,4	4,7	4,2	3,1	5,7	4,8	4,3	4,6	3,7	4,6	4,3	
Poros%	50,4	1,7	44,7	4,4	48,1	48,8	6,1	41,5	7,1	48,2	6,4	
SB ²	0,5	18,2	0,4	25,3	3,1	1,0	31,9	0,6	19,6	0,6	30,2	
t ²	3,3	13,5	2,8	10,8	3,1	2,4	25,3	2,0	16,0	2,0	17,7	
V%	9,1	23,1	9,2	27,5	52,0	20,9	30,6	17,8	18,8	15,0	24,6	

1 g.kg⁻¹; 2 cmol_c.dm⁻³; 3 mg.dm⁻³; 4 Mg.m⁻³. Arg: argila; DensS: densidade do solo; m%: saturação por alumínio; MO: matéria orgânica; P: fósforo; pH: potencial hidrogeniônico; Poros%: porosidade; SB: soma de bases; t: capacidade de troca catiônica efetiva; V%: saturação de bases