



ANÁLISES GEOESTATÍSTICAS NA AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE DO PH DO SOLO EM CONSÓRCIO AGROFLORESTAL COM CUPUAÇUZEIRO, PUPUNHEIRA E BACABEIRA

Tadário Kamel de Oliveira¹, Déborah Verçoza da Silva², Daniela Popim Miqueloni³, Nilson Gomes Bardales⁴, Eufraim Ferreira do Amaral¹

¹ Embrapa Acre – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rio Branco, AC

² Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, Rio Branco, AC

³ Eng. Florestal, Dra. em Produção Vegetal, Rio Branco, AC

⁴ Eng. Agrônomo, Dr. em Ciência do solo, Rio Branco, AC

Resumo

Em sistemas agroflorestais (SAFs) ocorrem diversos tipos de interações entre os componentes e também com o solo. A variabilidade nos atributos do solo é intrínseca, no entanto as modificações promovidas pelas espécies vegetais pode determinar sua alteração. A fim de identificar a espacialidade das interações que ocorrem nos SAFs, este trabalho objetivou avaliar por meio dos parâmetros de análises geoestatísticas a dependência espacial e variabilidade do pH do solo em um consórcio agroflorestal com cupuaçuzeiro, pupunheira e bacabeira. O estudo foi conduzido em área de produtor localizada no ramal Baixa Verde do Projeto Reça (RO) em um consórcio agroflorestal de 11 anos de idade com duas partes distintas: (S1) com as espécies cupuaçuzeiro e pupunheira, e a segunda (S2) que possuía também a bacabeira. As amostras de solo foram coletadas em malha regular de 3 m x 10 m. Para verificar a dependência espacial, interpolar dados e elaborar mapas de isolinhas, foi empregada análise geoestatística, por meio de ajustes de semivariograma. A análise de dependência espacial do pH apresenta grau moderado, com o modelo esférico de ajuste do semivariograma. Os parâmetros do semivariograma indicam que a amostragem utilizada para avaliação do pH em consórcios agroflorestais foi adequada, com alcance superior a 12 m, ou seja, maior que a malha amostral adotada. Na área com pupunheira e cupuaçuzeiro os valores de pH são superiores ao sistema que inclui a bacabeira como componente adicional.

Palavras-chave: sistema agroflorestal; fertilidade do solo; interações; estatística; Amazônia

INTRODUÇÃO

Diante das inúmeras possibilidades de combinações de espécies, interações, manejo dos sistemas e diversidade dos sítios de plantio, análises estatísticas experimentais clássicas, com delineamentos em blocos casualizados ou outros esquemas, tornam-se mais complexas ou por vezes não atendem aos critérios necessários para sua aplicação, em especial nos SAFs estabelecidos há anos em áreas de produtores. Nos sistemas agroflorestais, associado à diversidade de espécies está a natural heterogeneidade dos solos, que pode ser potencializada conforme o tipo de uso da terra, sistemas agrícolas e práticas de manejo. A variabilidade intrínseca tem sido associada à variação natural dos atributos dos solos, enquanto a variabilidade extrínseca significa variações impostas pelas práticas de produção e culturas (FERREIRO et al., 2016). As avaliações de acordo com a distribuição no espaço são realizadas por meio da geoestatística, a qual possibilita a determinação da variabilidade de variáveis que apresentem dependência espacial, ou seja, que apresentem grau de organização e continuidade (VIEIRA, 2000). Em sistemas agroflorestais ocorre grande diversidade de espécies que interagem entre si de acordo com sua espacialidade no sistema. Tais interações somadas a variabilidade espacial intrínseca dos solos (CAMBARDELLA et al., 1994), demonstram a necessidade de uma metodologia de avaliação específica capaz de complementar ou substituir os métodos estatísticos convencionais, que possibilitem informações mais precisas e com maior relação benefício/custo (AMARAL et al., 2018). Objetivou-se com este trabalho avaliar por meio dos parâmetros de análises geoestatísticas a dependência espacial e variabilidade do pH do solo em um consórcio agroflorestal com cupuaçuzeiro, pupunheira e bacabeira.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em área de produtor associado ao projeto RECA (Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado) localizada entre as coordenadas 09° 52' 22,5" S e 66° 36' 37,3" W, no ramal Baixa Verde, no distrito de Nova Califórnia, extremo oeste de Porto Velho (RO). O clima da região é o equatorial quente e úmido (Aw), segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual de



2.250 mm e temperatura média anual de 25,5°C (INMET, 2020). O consórcio foi implantado em 2006, tendo 11 anos de idade no momento das avaliações. O estudo foi realizado em um consórcio agroflorestal que apresentava duas partes distintas. A primeira (S1) com as espécies cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) e pupunheira (*Bactris gasipaes*), e a segunda (S2), que possuía também a bacabeira (*Oenocarpus mapora*). O espaçamento utilizado e número de plantas por hectare foram: cupuaçuzeiro 6 m x 5 m, com 333 plantas ha⁻¹; pupunheira 12 m x 12 m, com 69 plantas ha⁻¹; bacabeira 12 m x 12 m, com 69 plantas ha⁻¹. Para avaliação da variabilidade espacial do pH do solo a amostragem foi realizada utilizando-se uma malha regular de 3 m x 10 m. Em cada ponto foi coletada uma amostra de solo na profundidade de 0 a 20 cm, totalizando 160 amostras. Todos os pontos de coleta foram georreferenciados com aparelho de GPS Garmin 76CSx. Inicialmente os dados foram submetidos a análise descritiva. Para verificar a dependência espacial, interpolar dados e elaborar mapas foi empregada a análise geoestatística, por meio de ajuste de semivariograma com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, pela metodologia de Vieira (2000). Do ajuste de um modelo matemático foram estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita (C₀); patamar (C₀+C) e o alcance (a)). Todas as análises de variabilidade espacial foram realizadas utilizando-se o software GS+ versão 7.0 (GAMMA DESIGN SOFTWARE, 2000). Também foi calculado o grau dependência espacial (GDE) das variáveis, que é a porcentagem da relação entre o parâmetro contribuição (C₁) com o patamar (C₀ + C₁), classificado segundo Biondi et al. (1994) como: fraca GDE<25%; moderada GDE entre 25 e 75%; e forte GDE>75%. Após o ajuste do semivariograma, os dados foram interpolados pelo método de krigagem. Com os valores estimados foi elaborado o mapa de isolinhas para pH do solo, em função das coordenadas geográficas, utilizando o programa Surfer 8.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH apresentou distribuição assimétrica à direita. De acordo com Carvalho et al. (2017), o coeficiente de assimetria e a curtose com valores próximos de zero indicam que os dados possuem distribuição normal. De acordo com Zanão Júnior et al. (2010) o valor de curtose para o pH está dentro do limite de normalidade: 3,0. Os resultados obtidos com o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) corroboram com os dados de assimetria e curtose sobre a normalidade dos dados (Tabela 1).

Tabela 1 - Estatística descritiva do pH do solo em área de consórcio agroflorestal com cupuaçuzeiro, pupunheira e bacabeira (Nova Califórnia/Porto Velho-RO)

Variáveis	Média	Md*	Mín	Máx	DP	CV	CA	Curt	KS
pH	5,09	5,02	4,70	5,80	0,24	4,72	1,14	0,84	0,051**

*Md: mediana; Mín: valor mínimo; Máx: valor máximo; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; CA: coeficiente de assimetria; Curt: curtose; KS: teste de Kolmogorov-Smirnov;** altamente significativo (P<0,05).

A análise geoestatística evidenciou que o pH do solo apresenta dependência espacial (Tabela 2). O semivariograma foi ajustado por meio do modelo esférico. O valor do efeito pepita (C₀) indica a variabilidade não explicada, que pode ser devido a erros de medida ou microvariação não detectada (FERREIRO et al., 2016). O valor observado para o pH foi de 0,066 indicando que a amostragem foi adequada, uma vez que quanto menor for este parâmetro mais precisa será a avaliação da dependência espacial (VIEIRA, 2000). Avaliando o C₀ e o C₀ + C, observa-se que o efeito pepita contribui com 32% do valor do patamar, apresentando um semivariograma bem definido e atestando que a malha de amostragem foi adequada.

Tabela 2 - Componentes da semivariância e grau de dependência espacial (GDE) do pH do solo em consórcio agroflorestal no ramal Baixa Verde, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho (RO)

Variáveis	Modelo	C ₀	C ₀ +C	a (m)	GDE (%)	DE	R ²	SQR
pH	Esférico	0,066	0,201	12,30	67,16	Moderada	0,643	0,00560

C₀: efeito pepita; C₀+C: patamar; a: alcance; GDE: grau de dependência espacial (DE); R²: coeficiente de determinação; SQR: soma dos quadrados dos resíduos.

Na Tabela 2, observa-se que o resultado para o alcance foi de 12,3 m, sendo superior a grade amostral utilizada (3 m x 10 m), o que evidencia a adequação do espaçamento de amostragem, na caracterização da dependência espacial da variável na área. Quanto ao patamar, observa-se que o resultado foi de 0,201, valor este onde a curva de distribuição dos dados estabiliza. O GDE foi moderado, com valor de 67,16%. Tais resultados demonstram que o semivariograma explica a maior parte da variância dos dados amostrados. Segundo Cambardella et al. (1994), atribui-se a forte dependência espacial das características químicas e físicas do solo aos fatores intrínsecos, e a fraca dependência, aos extrínsecos. Em estudo sobre a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, Zanão et al. (2010) obtiveram dependência moderada para todas as variáveis. O coeficiente de determinação (R²) para o semivariograma foi 0,64, indicando boa correlação. O coeficiente de determinação (R²) indica o quanto o modelo ajustado é capaz de explicar os dados coletados e associado a soma de quadrados do resíduo (SQR) propicia uma escolha mais exata do modelo que melhor se ajusta aos dados. O modelo esférico ajustado nesse trabalho foi baseado no maior R² e menor SQR.

Na Figura 1 tem-se a variabilidade espacial do pH em água. De modo geral, observa-se diferença entre áreas dentro do SAF, sendo que na parte do consórcio de cupuaçuzeiro com pupunheira (S1) houve valores mais elevados (5,26), diferente da parte S2: cupuaçu-pupunha-bacaba, que apresentou solo mais ácido. De acordo com Venegas et al. (1999), o solo da área com duas espécies apresenta acidez média (pH entre 5,1 a 6,0), enquanto que na área com cupuaçu e as duas espécies de palmáceas, ocorre elevada acidez (pH entre 4,5 a 5,0).

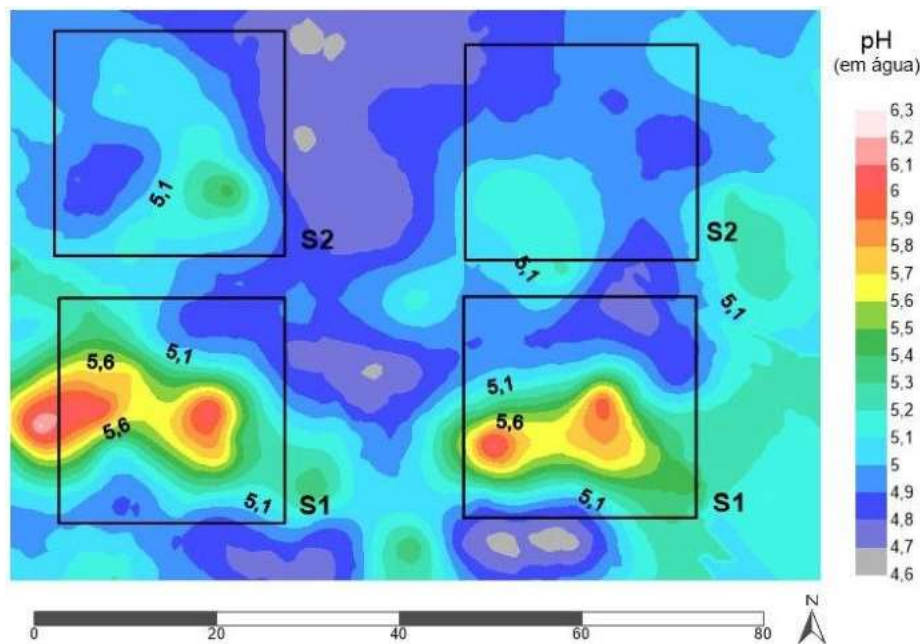


Figura 1. Mapa de isolinhas da variabilidade espacial do pH do solo (0 – 20 cm) em consórcio agroflorestal no ramal Baixa Verde, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho (RO)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em consórcios agroflorestais com pupunheira e cupuaçuzeiro os valores de pH são superiores ao sistema que inclui a bacabeira como componente adicional. A análise de dependência espacial do pH apresenta grau moderado, com o modelo esférico de ajuste do semivariograma. Os parâmetros do semivariograma indicam que a amostragem utilizada para avaliação do pH em consórcios agroflorestais foi adequada. O conhecimento da distribuição do pH na área, assim como de outros atributos, indica os melhores locais para o planejamento e execução de práticas agrícolas como adubação, calagem e manejo do sistema, com maior precisão e otimização dos custos. Análises geoestatísticas são adequadas para demonstrar a variabilidade espacial de atributos do solo e permitem identificar interações entre os componentes do sistema e entre estes e o solo.



REFERÊNCIAS

- AMARAL, E. F.; OLIVEIRA, T. K.; BARDALES, N. G.; ARAÚJO, E. A.; OLIVEIRA, C. H. A.; SILVA, D. V.; MORENO, N. M. C. **Caracterização de sistemas agroflorestais com o uso de ferramentas de geoestatística**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2018. 33p.
- BIONDI, F.; MYERS, D.E. & AVERY, C.C. Geostatistically modeling stem size and increment in an old-growth forest. **Can. J. For. Res.**, 24:1354-1368, 1994.
- 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**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.
- CARVALHO, J. C. B.; ESPIDONLA, C. R.; ALVES, M. C.; GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Spatial analysis of soil physical attributes from a degraded area under different types of management. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 11, n. 9, p. 486-498, set. 2017.
- FERREIRO, J. P.; ALMEIDA, V. P.; ALVES, M. C.; ABREU, C. A.; VIEIRA, S. R.; VÁZQUEZ, E. V. Spatial variability of soil organic matter and cation exchange capacity in an oxisol under different land uses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 1, p. 1-34, 2016.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. **GS+ - Geostatistics for the Environmental Sciences**. Michigan, 1 CD-ROM, versão 7.0. 2000.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Dados históricos anuais. Disponível em: . Acesso em: 20 nov. 2020.
- VENEGAS, V. H. A.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Org.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 1. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, v. 1, p. 25-32, 1999.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., ed. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1. p.1-54, 2000.
- ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q.; CARVALHO-ZANÃO, M.P.; GUIMARÃES, E.D. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, v.57, n.3, p.429-438, 2010.

Agradecimentos

Agradecemos ao projeto RECA, pela parceria na realização do estudo. E ao Fundo Amazônia pelo financiamento de parte da pesquisa.