

Leandro Xavier de Oliveira Morato ¹; Gabriela Costa Oliveira²; Vladimir Antonio Silva ³.

1 Leandro Xavier de Oliveira Morato, Bolsista (CNPq), Curso Zootecnia, IFMG Campus Bambuí, Bambuí - MG; leandroxom@hotmail.com

2 Gabriela Costa Oliveira, Mestranda em Zootecnia, UFVJM, Diamantina – MG; gabriela-costa.oliveira@ufvjm.edu.br

3 Orientador: Pesquisador do IFMG, Campus Bambuí, Bambuí-MG; vladimir.silva@ifmg.edu.br

RESUMO

As ferramentas de geoestatística disponibilizadas em sistemas de informações geográficas (SIG) permitem a interpretação de variações espaciais da fertilidade do solo e disponibilizar informações para intervenções tanto na aplicação de fertilizantes em taxa variável como servir de referência para o planejamento e gestão de fazendas. Objetivou-se analisar a dependência espacial da fertilidade do solo e a geração de mapas dos atributos químicos do solo da fazenda Varginha em Bambuí-MG. Gerou-se em SIG a grade de amostragem de solo com as coordenadas. A partir da localização dos pontos realizou-se a coleta de solo na camada de 0,00 a 0,20m a cada 4,0ha, sendo as amostras identificadas e submetidas às análises químicas em laboratório, nas quais foram avaliados os atributos acidez (acidez ativa, Al^{3+} , H + Al), Cálcio, Magnésio, Fósforo disponível, Fósforo remanescente, Potássio, Zinco, Boro, CTC efetiva, CTC potencial, saturação por bases e saturação por alumínio. Submeteram-se os dados à estatística descritiva e geoestatística. À exceção do Potássio, todos os nutrientes analisados do solo encontram-se predominantemente nas classes médio a baixo. A acidez se encontra de média a alta. Os atributos Cálcio, Zinco e Boro apresentaram forte dependência espacial. Os atributos soma de bases, CTC efetiva, CTC potencial e Fósforo disponível apresentaram moderada dependência espacial. Os atributos magnésio, acidez trocável, acidez potencial, acidez ativa, saturação por bases, saturação por alumínio, P-remanescente e potássio apresentaram fraca dependência espacial. O semivariograma revelou que dos 15 atributos pesquisados sete apresentaram melhor ajuste ao modelo esférico, quatro ao exponencial e quatro ao gaussiano.

Palavras-Chave: Mapa. Fertilidade. Geoestatística. Amostragem georreferenciada.

INTRODUÇÃO

O solo apresenta grande variação de suas características nos sentidos vertical e horizontal (ZONTA et al., 2010). A variabilidade espacial dos seus atributos, medida e registrada (VIEIRA et al., 1983), permite adequar o manejo, considerando estratégias de amostragem, aplicação de fertilizantes, além de planejamento de delineamento de pesquisa. Atributos do solo apresentam dependência espacial (BOTTEGA et al., 2013; SANTOS et al., 2017; LONDERO et al. 2020), podendo ser analisados pela geoestatística (CAMBARDELLA et al., 1994).

Em ciência do solo, observa-se crescimento na aplicação da geoestatística, que permite estudar a variabilidade espacial desses atributos além de quantificar sua magnitude. Na estatística clássica a influência da heterogeneidade espacial sobre a representatividade dos valores médios é ignorada, tornando-se imprescindível o uso de técnicas de geoestatística que ainda proporciona meios para os mapeamentos pela krigagem, conhecendo-se o modelo da dependência espacial por meio do semivariograma (LEMOS FILHO et al., 2008), que caracteriza a estrutura da variância do atributo como variável regionalizada em função da distância no terreno (ZONTA et al., 2014). A análise da variabilidade dos atributos do solo pode indicar alternativas de manejo para a redução dos seus efeitos sobre a produção das culturas (ZONTA et al., 2014). Entende-se a krigagem como uma predição linear ou uma forma de inferência bayesiana (TONIOL; AMORE, 2017). Na krigagem extrai-se o semivariograma teórico, resultado da variabilidade espacial de um atributo, levando-se em consideração a distância e a direção de ocorrência no espaço (FELGUEIRAS et al., 2001) *apud* Toniol e Amore (2017). Se as condições específicas pela hipótese de variabilidade são contempladas, então o semivariograma pode ser estimado a partir dos dados amostrais (TONIOL; AMORE, 2017).

Na recomendação de doses de fertilizantes os métodos estatísticos clássicos ignoram a heterogeneidade espacial (SANTOS et al., 2017). Uma vez conhecido o modelo da dependência espacial, é possível mapear a área estudada (BOTTEGA et al., 2013). Para Zanão Júnior et al. (2010) os mapas oriundos de estudos de variabilidade espacial dos atributos químicos do solo devem ser criados conforme classes consideradas na recomendação de adubação, permitindo estabelecerem-se estratégias de aplicação de fertilizantes. Objetivou-se avaliar a variabilidade espacial e mapear a fertilidade do solo da Fazenda Varginha, IFMG/Campus Bambuí com uso de SIG, podendo ser disseminado como instrumento decisório para gestão.

METODOLOGIA

A Fazenda Varginha, localiza-se no km 05 da estrada Bambuí – Medeiros, Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Bambuí (IFMG/BAMBUI), com coordenadas geográficas do centróide de 20°02'24,64" de latitude sul e 46°00'52,65" de longitude oeste, altitude média de 720m e área de 328,0812ha (RMTG, 2014). Na área experimental predomina o CAMBISSOLO HÁPLICO (CX), seguido por LATOSSOLO VERMELHO (LV), solos indiscriminados de várzea e NEOSSOLO REGOLÍTICO (RR) (OLIVEIRA et al., 2018).

Adotou-se grade amostral quadrada de 200m x 200m. Não amostraram-se áreas construídas e represas. Transferiram-se para receptor GNSS de navegação ETREX Garmin 35x as coordenadas UTM dos pontos a serem amostrados e localizaram-se os pontos amostrais no campo. Procedeu-se à coleta das amostras com trado holandês, na profundidade de 0,0 a 0,20m, com cinco subamostras por ponto, sendo uma no centro e as outras quatro distanciadas de 50m do centro nas direções dos pontos cardeais. As análises foram realizadas no Laboratório de Solos do IFMG-Campus Bambuí. Analisaram-se pH (acidez ativa) do solo, K (potássio disponível), Ca (cálcio trocável), Mg (magnésio trocável), H + Al (acidez potencial), Al³⁺ (acidez trocável), SB (soma de bases), CTC potencial, CTC efetiva, B (Boro disponível), Zn (Zinco disponível), P-remanescente e P (P-disponível) conforme Comissão... (1999, p. 21-24). Calcularam-se os valores de V% (saturação por bases) e m% (saturação por alumínio). Transferiram-se os resultados para planilhas do Excel com as respectivas coordenadas. No programa ArcGis a planilha foi transformada em *shapefile* projetado para o sistema UTM, DATUM WGS-84 23S. De acordo com Zanão Júnior et al. (2010) os atributos estudados foram mapeados de acordo com as classes preconizadas para o estado de Minas Gerais (COMISSÃO..., 1999, p. 26-31).

Submeteram-se os dados à estatística descritiva analisando-se os valores médio, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficientes de assimetria e de curtose. Inicialmente o saneamento amostral baseou-se nos coeficientes de assimetria e de curtose adotando-se: módulo da assimetria moderada (entre 0,15 e 1,0), forte (>1,0) e simétrica (=0) conforme Guimarães (2000). A assimetria balizou o saneamento na verificação do extremo que estavam os valores *outliers*. Utilizaram-se também os valores de mínimo, máximo, média, mediana e desvio padrão para sanear as amostras, baseando-se nas faixas de fertilidade para Minas Gerais (COMISSÃO..., 1999, pp.26-31).

A curtose representou a forma da curva, mesocúrtica (curtose = 0,236); valores superiores platicúrtica e inferiores leptocúrtica. Com as estatísticas, a visualização dos pontos *outliers* em SIG e a experiência de campo, identificaram-se os valores discrepantes a serem saneados para cada atributo.

O saneamento buscou preservar o máximo de pontos necessários à *krigagem*. Resultaram o mínimo de 56 pontos (Zinco disponível) e o máximo com todos pontos (Magnésio trocável e P-remanescente). À exceção da acidez trocável, saturação por alumínio e P disponível, os valores de média e mediana se aproximaram após o saneamento dos dados. Conforme Cambardella (1994) isso é indicativo de tendência central na distribuição dos dados e não dominância de valores atípicos (*outliers*).

Através do teste Shapiro Wilk no Sisvar não houve normalidade. Isso já era esperado por se tratar de área com diferentes classes de solo (OLIVEIRA et al., 2018) e de manejo. Pesquisas em áreas heterogêneas sequer usaram o teste Shapiro Wilk (LONDERO et al. 2020) talvez pelo seu excessivo rigor, todavia, em áreas homogêneas é empregado (MORAIS, 2019). Em que pese a não normalidade, pesquisas com resultados não significativos pelo teste Shapiro-Wilk que prosseguiram o geoprocessamento dos resultados pela *krigagem* (ZONTA et al. 2014).

Conforme Comissão... (1999, p.26-27) a média para as classes de fertilidade do atributo acidez ativa (pH= 5,51) é bom, acidez trocável (Al³⁺ = 0,37) é baixo, acidez potencial (H + Al= 3,68) é médio, saturação por alumínio (m%= 11,43) é muito baixo. Esses atributos indicam as condições de acidez do solo provocadas por hidrogênio e alumínio que estão competindo com as bases pela CTC potencial do solo. A saturação se deve mais ao hidrogênio pois os valores de m% e de Al³⁺ são muito baixo e baixo. A média CTC efetiva (t= 5,8) é bom. Para CTC pH 7 (T= 9,3) é bom mas se distancia da CTC efetiva. Parte da CTC pH 7 está ocupada pela acidez potencial (H+Al) podendo afetar o rendimento das culturas (SANTOS et al. 2017). Para o atributo P-remanescente a média foi 19,5 enquanto P disponível foi 8,37 classificando o P disponível baixo. A média para potássio disponível (K= 123,6) o classifica como bom. Para Zinco disponível (Zn=1,48) foi médio e para boro disponível foi baixo (B= 0,13).

À exceção para CTC pH 7 (T= - 0,443) e V%, todas as variáveis apresentaram assimetria à direita, concordando com Zanão Júnior et al. (2010). À exceção para os atributos Ca trocável (assimetria=1,14), saturação por alumínio (assimetria = 1,65), P disponível (assimetria =2,45) e Zinco disponível (assimetria=1,01) que apresentaram assimetria forte, todos os demais atributos estudados apresentaram assimetria moderada, reforçando a tendência central dos dados. Apesar da predominância de

assimetria, os valores médios e medianos próximos trazem tendência central dos dados após o saneamento, isso indica que os dados estão adequados para a aplicação da geoestatística (CAMBARDELLA et al., 1994). Todos os dados apresentaram distribuição leptocúrtica o que é indicativo da concentração dos dados (SILVA et al., 2010).

Saneados os dados os valores das estatísticas melhoraram para a *krigagem*. Pelo coeficiente de variação (CV%) pode-se verificar a contribuição do saneamento reduzindo o CV%. Dalchiavon et al. (2012) classifica a variabilidade de um atributo como baixo ($CV < 10\%$), médio ($10\% < CV < 20\%$), alto ($20\% < CV < 30\%$) e muito alto ($CV > 30\%$). À exceção para acidez ativa ($CV = 12,1\%$) e CTC pH7 ($CV = 26,0\%$), os coeficientes de variação foram originalmente muito altos e depois reduziram com o saneamento. Resultados semelhantes foram encontrados por Bottega et al. (2013).

Procedeu-se à análise de modelo matemático de ajuste para gerar o semivariograma experimental. Os modelos testados por validação cruzada foram esférico, gaussiano e exponencial. Conforme Vieira et al. (1983) realizou-se a análise da dependência espacial no programa ArcGis Versão 10.8, que realiza os cálculos das semivariâncias.

Após a *krigagem* obtiveram-se os parâmetros geoestatísticos do melhor modelo. Os parâmetros utilizados foram RMS (raiz quadrada média), RMSE (raiz do erro quadrático médio) e ASE (erro padrão médio) do modelo ajustado. Confrontaram-se os modelos por validação cruzada conforme Baio (2020) e selecionou-se o melhor para cada variável. Avaliaram-se os modelos esférico, gaussiano e exponencial e para o melhor, procedeu-se à análise da variabilidade espacial de cada atributo. Para isso utilizaram-se os parâmetros geoestatísticos do modelo ajustado, efeito pepita (C_0), Contribuição (C_1), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (A). Determinou-se para cada variável o GDE (grau de dependência espacial), conforme Equação (1).

$$GDE (\%) = \{C_0 / (C_0 + C_1)\} * 100 \quad (1)$$

O retângulo da *krigagem* foi estendido em SIG utilizando como referência o perímetro georreferenciado da fazenda Varginha (RMTG, 2014). Recortou-se o retângulo em SIG com a máscara do perímetro gerando um novo plano contendo o mapa da fazenda com os teores interpolados. Classificaram-se os teores dos atributos em classes de fertilidade conforme Comissão... (1999, p.26-31). Padronizaram-se as cores representativas de cada classe: vermelho (Muito baixo), laranja (Baixo), amarelo (médio), verde (bom ou alto), lilás (Muito bom ou Muito alto). Gerados os mapas procedeu-se em SIG à formatação conforme GREGO et al. (2017).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o melhor modelo procedeu-se à análise da variabilidade espacial, utilizando-se os parâmetros geoestatísticos (tabela 1) efeito pepita (C_0), Contribuição (C_1), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (A). Determinou-se para cada variável o GDE (grau de dependência espacial) para verificar o comportamento da variável no espaço e certificar da adequação de densidade da grade amostral. Valores de GDE abaixo de 25% caracterizam forte dependência espacial da variável, entre 25% e 75% moderada e valores acima de 75% caracterizam fraca dependência espacial (CAMBARDELLA et al., 1994).

Tabela 1 - Melhor modelo ajustado para os atributos do solo da fazenda Varginha, efeito pepita, contribuição, grau de dependência espacial e alcance.

Atributo	Modelo	C_0	C_1	GDE%	A(m)
Cálcio trocável (Ca^{2+})	EXPONENCIAL	0,807	5,610	12,58	961,91
Magnésio trocável (Mg^{2+})	GAUSSIANO	0,159	0,007	95,78	1074,35
Acidez trocável (Al^{3+})	ESFÉRICO	0,270	0,061	81,57	1319,61
Soma de bases (SB)	ESFÉRICO	4,404	3,216	57,80	396,57
Acidez potencial (H + Al)	EXPONENCIAL	2,314	0,342	87,12	378,12
Acidez ativa pH	GAUSSIANO	0,2582	0,041	86,30	898,83
CTC efetiva (t)	ESFÉRICO	3,586	1,702	67,81	396,57
CTC pH 7 (T)	GAUSSIANO	2,264	2,134	51,48	396,57
Saturação por bases (V%)	ESFÉRICO	407,509	68,474	85,61	1213,92
Saturação por Alumínio (m%)	ESFÉRICO	308,728	57,433	84,31	1138,63
P-remanescente	ESFÉRICO	32,850	7,131	82,16	1268,23
Fósforo disponível (P)	GAUSSIANO	95,400	98,460	49,21	758,59
Potássio disponível (K)	ESFÉRICO	5509,660	492,750	91,79	1207,34
Zinco disponível (Zn)	EXPONENCIAL	0,000	195,183	0,00	754,87
Boro disponível (B)	EXPONENCIAL	0,00	0,003	0,00	460,26

Os atributos cálcio trocável, zinco disponível e boro disponível apresentaram forte dependência espacial. Os atributos soma de bases, CTC efetiva, CTC potencial e fósforo disponível apresentaram moderada dependência enquanto magnésio trocável, acidez trocável, acidez potencial, acidez ativa, saturação por bases, saturação por alumínio, P-remanescente e potássio disponível apresentaram fraca dependência espacial. Conforme Cambardella et al. (1994) os atributos que apresentam forte dependência espacial são mais influenciados pelas propriedades intrínsecas do solo (textura, mineralogia) e aqueles influenciados por propriedades extrínsecas do solo (cultivo, aplicação de fertilizantes) apresentam fraca dependência espacial. Zanão Júnior et al. (2010) verificaram forte dependência espacial para atributos químicos do solo em profundidade mais corrigida com fertilizantes (0-10m) enquanto que em profundidade menos corrigida a dependência espacial foi fraca ou nula. Valores mais altos de GDE% confirmam a decisão pela *krigagem* ordinária como método de interpolação (SANTOS et al., 2017).

O alcance (A) representa a distância em que a variável sinaliza continuidade espacial e a partir dessa distância, o comportamento da variável passa a ser aleatório (LEMOS FILHO et al. 2008). É importante para o planejamento e avaliação de experimentos, auxiliando definir procedimentos amostrais e significa a distância máxima de correlação espacial da variável (DAVIS, 1986), portanto, distâncias entre pontos maiores que o alcance representam distribuição aleatória (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010). Todos os valores de alcance obtidos foram maiores que o valor do espaçamento entre amostras, indicando estarem correlacionadas umas às outras, permitindo as interpolações. Por outro lado, valores baixos de alcance influem negativamente nas estimativas, porque poucos pontos são usados na interpolação. O menor alcance foi para Boro (A=460,26m) e o maior para acidez trocável (A= 1.319,61m) indicando que a malha amostral para Boro deverá ser mais densa que para acidez trocável, em uma futura amostragem.

Os atributos cálcio trocável, acidez potencial, zinco disponível e boro disponível ajustaram-se melhor ao modelo exponencial enquanto magnésio trocável, acidez ativa, CTC potencial e P-disponível, pelo modelo gaussiano e acidez trocável, soma de bases, CTC efetiva, saturação por bases, saturação por alumínio, P-remanescente e potássio disponível, pelo modelo esférico. Esses modelos também revelaram melhores ajustes para atributos químicos de solos cultivados (SANTOS et al., 2017). Dos 15 atributos pesquisados sete apresentaram melhor ajuste ao modelo esférico, quatro ao exponencial e quatro ao gaussiano. Conforme Grego e Vieira (2005) o modelo esférico predomina nos resultados de atributos químicos do solo.

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo é uma ferramenta significativa para analisar a variabilidade e aperfeiçoar o manejo em áreas agrícolas. Os mapas de isolinhas são obtidos por meio da interpolação por *krigagem*. Nesses mapas, visualiza-se na área amostrada a distribuição espacial dos atributos do solo avaliados (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010). A acidez, representada pelo pH se revelou de baixo a bom (figura 1), sendo indicativo da necessidade de se realizar calagem no solo da fazenda Varginha.

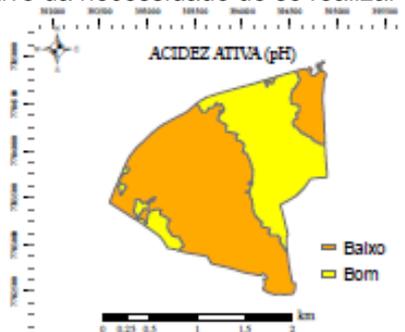


Figura 1 – Mapa de acidez ativa (pH) na fazenda Varginha

FONTE: Autor (2021).

O atributo soma de bases (SB) resultou em níveis baixo, médio a sudoeste e bom a nordeste (figura 2), sendo que predomina o nível médio, reforçando a necessidade de se proceder à calagem. A saturação por bases (V%) também acompanhou essa tendência, todavia apresentando os níveis baixo a oeste e bom a nordeste, trazendo a informação das regiões da fazenda com prioridade para a realização de calagem ou com possibilidade de resposta das culturas à aplicação de fertilizantes (ZANÃO JÚNIOR et al. 2010).

O atributo CTC efetiva (t) indica a situação atual do solo em reter os cátions para realizar as trocas com o sistema radicular das plantas, tendo apresentado as classes de baixo a bom (figura 2), com predominância de médio na maior parte da fazenda. Analisando-se a CTC potencial (T) em conjunto com a CTC efetiva (t), pode-se inferir sobre as melhorias que a calagem poderá trazer à dinâmica de cargas do solo

com a correção do pH para próximo de do valor de pH= 7,0. Essa melhoria será mais significativa no lado leste. O atributo H mais Al apresentou níveis de baixo a alto, sendo os níveis baixos desse atributo o desejável. Houve predominância marcante do nível médio na quase totalidade da fazenda. Para o atributo saturação por alumínio (m%) houve predominância do nível baixo, observando-se também uma região com nível alto a noroeste. Analisando-se esses dois atributos pode-se afirmar que a parte das cargas do solo que não está ocupada com bases, predominando na acidez a adsorção de hidrogênio (H), em detrimento do alumínio (Al).

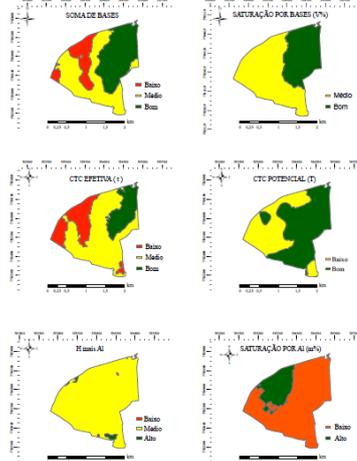


Figura 2 - Interpolação espacial dos atributos do horizonte A dos solos no campus Bambuí do IFMG.

Fonte: Autor (2021).

Observa-se nos mapas de fertilidade da fazenda Varginha (figura 3), que será necessário um manejo adequado em relação aos macronutrientes Ca e P para bom desenvolvimento das plantas, devido à suas largas faixas de baixos teores distribuídas na área. Observaram-se para a distribuição do Mg (Figura 3), as classes baixo a médio com maior proporção, sinalizando para a correção do solo, o uso de calcário magnesiano para a região de classe médio e dolomítico para a região de classe baixo. Para P- disponível a classe muito baixo predomina, indicando a necessidade de adição ao solo de fontes de P em operações de semeadura, plantio e transplântio.

O atributo cálcio trocável (Ca^{2+}) apresentou predominância do nível baixo a oeste da fazenda e dos níveis médio a bom no restante, enquanto o nível muito baixo ocorreu em uma pequena região a oeste, onde também foram encontrados os valores mais baixos de pH. O Magnésio trocável (Mg^{2+}) apresentou os níveis de baixo a bom, sendo que predominam os níveis baixo e médio, com ocorrência de bom em uma pequena região a leste. O atributo potássio disponível (K) apresentou de nível bom a muito bom, com predominância do nível bom na parte norte e do nível muito bom do centro ao sul da fazenda. Em que pese o potássio ser um macronutriente primário, poderá ser utilizado em menores quantidades, visto que seus níveis na fazenda atendem à maioria das plantas cultivadas (COMISSÃO..., 1999).

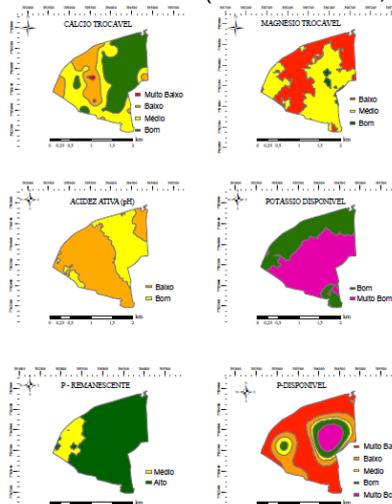


Figura 3 - Interpolação espacial dos atributos do horizonte A dos solos no campus Bambuí do IFMG.

Fonte: Autor (2021).

O atributo P-remanescente indica a capacidade do solo em fixar o fósforo e baliza a interpretação dos níveis de P-disponível. Assim, observa-se no mapa que predomina para o atributo P-remanescente o nível alto, sendo observado o nível médio em uma região a oeste da fazenda. Dessa maneira pode-se afirmar que os solos da fazenda não são grandes fixadores de P. O P-disponível apresentou nível baixo na quase totalidade da fazenda, salvo na região oeste, onde observaram-se níveis de bom a muito bom de P-disponível.

O atributo boro disponível (B) apresentou os níveis muito baixo e baixo (figura 4), com predominância do nível muito baixo, o que nos dá um indicativo da necessidade de uso no solo de fertilizante que contenha esse micronutriente em sua formulação ou ainda, alternativamente, a vantagem de se realizarem pulverizações de adubos foliares com boro, nas plantas cultivadas na fazenda.

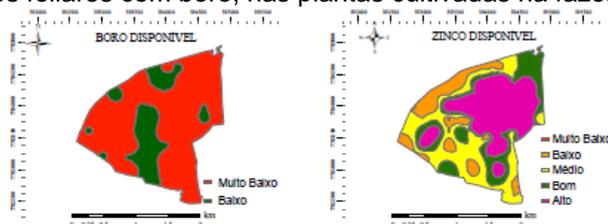


Figura 4 - Interpolação espacial dos atributos do horizonte A dos solos no campus Bambuí do IFMG.

Fonte: Autor (2021).

O atributo zinco disponível (Zn^{2+}) apresentou níveis de muito baixo a alto, predominando os níveis bom a alto na parte leste. Também no caso do zinco deve-se preferir a aplicação de fertilizantes que contenham esse micronutriente em sua formulação ou alternativamente, realizar adubações foliares com esse micronutriente nas plantas cultivadas.

CONCLUSÕES:

O uso de SIG com a geoestatística se mostrou eficaz em diagnosticar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo.

O modelo teórico que se ajustou à maioria dos atributos foi o esférico.

Os mapas dos atributos químicos do solo forneceram um diagnóstico da variabilidade espacial das classes de fertilidade e das regiões de menores e de maiores teores dos nutrientes sendo importante ferramenta de planejamento.

Para trabalhos futuros deve-se aumentar a densidade amostral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BAIO, F.H.R.; Geoestatística: Validação Cruzada e Krigagem no ArcGis. **Apresenta a metodologia para seleção do melhor modelo de ajuste dos dados para proceder à krigagem**, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=oCv64k4zUB0>. Acesso em 12 abr. 2021.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D.M. de; PINTO, F.A.C.; SOUZA, C.M.A. de. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOWAK, 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 American Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

COMISSÃO de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação** / Antonio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Victor Hugo Alvarez V., Editores. – Viçosa, MG, 1999. 359p. : il.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. de P. e; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, p. 453-461, 2012.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.

GREGO, C.R.; NOGUEIRA, S.F.; RODRIGUES, C.A.G.; SILVAS, G.B.S. da; MANJOLIN, C.R. **Tutorial para a construção de mapas a partir de dados interpolados por análise geoestatística** / -- Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2017. 36p. : il.

GUIMARÃES, E.C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2000. 85p. (Tese de Doutorado).

LEMO FILHO, L. C. A.; OLIVEIRA, E. L. DE; FARIA, M. A. DE; ANDRADE, L. A. DE B. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agrônômica**, v.39, p.193-202, 2008.

LONDERO, R.; OLIVEIRA, R. B. DE; NASCIMENTO, J. M. Do; ARCOVERDE, S. N. S.; SECRETTI, M. L.. Dependência espacial da fertilidade do solo sob plantio direto e suas relações com a produtividade da soja. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p.1–8, 2020.

MORAIS, B. R. **Estudo de diferentes técnicas de interpolação espacial na elaboração de mapas de atributos químicos do solo de uma propriedade rural no município de Medeiros – MG**. / Bárbara Roberta Moraes. – 2019. 84 f.; il.

OLIVEIRA, G.C.; SILVA, T.F.; SOUZA, L.A.S.; SILVA, M.E.; SILVA, A.I.T.; SILVA, V.A. Delineamento em SIG do mapa de solos do campus do IFMG Bambuí. In: **Anais** da XI Jornada Científica. IFMG Campus Bambuí. 2018.

RMTG-REINALDO MELO TOPOGRAFIA E GEORREFERENCIAMENTO. Instituto Federal de Minas Gerais: **Levantamento de perímetro da Fazenda Varginha para fins de cadastramento no Cadastro Ambiental Rural-CAR**. 17 out. 2014. Projeto Final. Desenhista Reinaldo Melo, CREA-MG 142004/TD.

SANTOS, R. O.; FRANCO, L. B.; SILVA, S. A.; SODRÉ, G. A.; MENEZES, A. A.. Spatial variability of soil fertility and its relation of cocoa yield. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p.88-93, 2017.

SILVA, S. A.; LIMA, J.S.S. de; XAVIER, A.C.; TEIXEIRA, M.M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 15-22, 2010.

TONIOL, A. C.; AMORE, D. J. Validação de uma krigeagem ordinária por meio do produto TRMM 3B43 de precipitação mensal: um estudo de caso para o Bioma Cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18. (SBSR), 2017, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2017. p. 1762-1769, 2017.

VIEIRA, S. R. *et al.* Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, p. 1-15, 1983.

ZANAÕ JÚNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q.; CARVALHO ZANAÕ, M.P., GUIMARÃES, E.C.. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 57. N.3. p. 429-438, mai/jun. 2010.

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; MEDEIROS, J. C.; SANA, R. S.; SOFIATTI, V.. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n. 6, p.595-602, 2014.