

MÉTODOS DE POSICIONAMENTO PARA A DETERMINAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO

Vanessa Lima Cornélio*; Ariel Muncio Compagnon**; Walter José Pereira Filho***; Marcos Gonçalves da Silveira*; Pedro Henrique Martins Cintra****.

* Engenheiro em Agronomia pelo Instituto Federal Goiano- Campus Ceres.

** Doutor em Agronomia, Docente Instituto Federal Goiano- Campus. Ceres.

*** Discente do curso de Agronomia Instituto Federal Goiano-Campus Ceres.

**** Mestre em Irrigação no Cerrado pelo Instituto Federal Goiano- Campus Ceres.

*Autor para correspondência e-mail: ariel.compagnon@ifgoiano.edu.br

PALAVRAS-CHAVE

Amostragem
Aplicativos
Dependência Espacial
Geostatística

KEYWORDS

Sampling
Applications
Space Dependence
Geostatistics

RESUMO: A amostragem sistemática do solo é uma alternativa para identificar a variabilidade espacial de suas propriedades. Diante disso, objetivou-se com esse trabalho, determinar a variabilidade espacial dos atributos físicos (areia, silte e argila) e químicos (matéria orgânica e pH) do solo comparando diferentes métodos de posicionamento para aquisição das coordenadas. O experimento foi realizado no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres em área de Latossolo Vermelho com textura média. Foi estabelecida uma malha amostral de 79 pontos espaçados em 30 m x 30 m, em uma área de 7,11 ha, sendo esses georreferenciados utilizando-se três métodos: GNSS acoplado à estação total Leica GS-900, GPS Garmin Etrex 30 e app Trimble Outdoors Navigator. O solo foi coletado na profundidade de 0,00-0,20 m. Os resultados foram submetidos à análise pela estatística descritiva e a geostatística por meio de semivariogramas e do método de interpolação por krigagem. Os métodos de posicionamento GNSS acoplado à Estação Total, Etrex 30 e app permitiram mapear a dependência espacial para as variáveis silte, pH e matéria orgânica no solo com padrões semelhantes. A variável areia se ajustou apenas para a Estação Total e a argila para Estação Total e Etrex 30, tendo esse comportamento ocorrido devido à malha amostral utilizada.

POSITIONING METHODS FOR DETERMINING THE SPATIAL VARIABILITY OF SOIL ATTRIBUTES

ABSTRACT: Systematic soil sampling is an alternative to identify the spatial variability of its properties. The objective of this work was to determine the spatial variability of the physical attributes (sand, silt and clay) and chemical (organic matter and pH) of the soil comparing different positioning methods to obtain the coordinates. The experiment was carried out at the Goiano Federal Institute - Campus Ceres- in an area of Red Latosol with average impression. A sample mesh of 79 points spaced 30 mx 30 m in an area of 7.11 ha was installed, and georeferenced using three methods: GNSS associated the total station Leica GS-900, GPS and Garmin Etrex 30 and Trimble Navigator app outdoors. The soil was collected in the depth of 0.00-0.20 m. The results were analyzed by descriptive statistics and by geostatistics using semivariograms and the kriging interpolation method. The Total Station, Etrex 30 and app positioning methods allowed mapping spatial dependence for the variables silt, pH and organic matter in the soil with similar patterns. The sand variable was adjusted only for the Total Station and the Total Station clay and Etrex 30, as a consequence of the sample mesh used.

Recebido em: 30/04/2021

Aprovação final em: 05/07/2021

DOI: <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2021.v24i3.943>

INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão é uma técnica agrícola que considera a variabilidade espacial de uma área visando à prescrição exata na aplicação de insumos agrícolas em quantidades e localidades (Bernardi et al., 2018). Diante desse contexto, o uso da amostragem sistemática do solo é muito importante, pois possibilita identificar a variabilidade espacial dos atributos solo, o que permite maior facilidade no gerenciamento das atividades agrícolas.

Para Campos et al. (2009), os mapas de variabilidade espacial dos atributos do solo municiam informações importantes ao se estabelecer práticas de manejo apropriadas do solo e das culturas, pois o desenvolvimento das plantas tende a acompanhar a variabilidade ao longo da área (Miller et al., 1988), os quais, segundo Camargo, Marques Júnior e Pereira (2010), além de apresentarem variabilidade natural, possuem fontes adicionais de heterogeneidade no solo, devido ao manejo adotado.

No entanto, um grande desafio nos estudos de variabilidade espacial dos atributos do solo tem sido a determinação da amostragem ideal, a qual depende da malha amostral utilizada (Aquino et al., 2014). Além disso, os resultados da análise geoestatística dependem de outros fatores como o formato da grade de amostragem e o método de georreferenciamento das próprias amostras (ROSALEN et al., 2011).

Na agricultura de precisão são utilizados diferentes métodos de georreferenciamento, tais como os receptores de navegação e os receptores geodésicos de coordenadas georreferenciadas. Os receptores de posicionamento de ponto único ou de navegação atuam com uma precisão esperada de menos de 15 m e podem ser instalados em smartphones como aplicativos (app), possuindo assim um custo inferior aos demais métodos de georreferenciamento (SILVA JUNIOR; MEURER; CARVALHO, 2009). Já os receptores de posicionamento relativo ou geodésicos, conforme Segantine (2005) atuam com tecnologias de pós-processamento, o que permite atingir medidas com mais precisão.

Diante desse contexto, objetivou-se com este trabalho, determinar a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo comparando três métodos de posicionamento para aquisição das coordenadas georreferenciadas.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental está localizada no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, no município de Ceres – GO, com coordenadas de 15°20'46" ao Sul e longitude 49°35'50" à Oeste, com altitude média de 561 m. O solo da área experimental foi classificado de acordo com Embrapa (2013), como sendo um Latossolo Vermelho de textura média, o qual vem sendo utilizado com a sucessão de culturas de milho e sorgo forrageiro em sistema plantio convencional há dez anos, e se encontrava em condição de pós colheita de milho para silagem. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é caracterizado como tropical, com inverno seco e verão chuvoso (Aw).

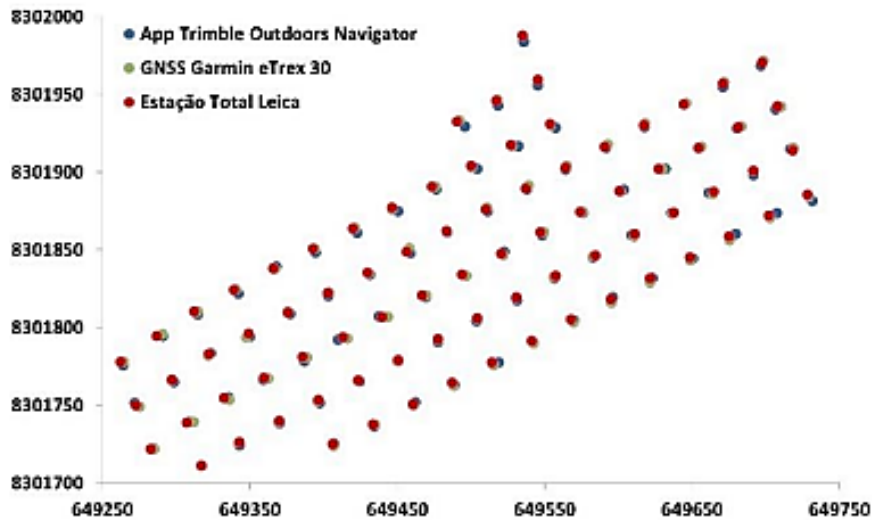
Na área foi estabelecida uma malha amostral com 79 pontos espaçados em 30 m x 30 m, com área total de 7,11 ha, sendo esses locados com estacas e dimensionados com o auxílio de uma trena. Os pontos foram georreferenciados no dia seis de junho de 2016 e logo após foram coletadas as amostras deformadas com o auxílio de um trado holandês na camada de 0,00 – 0,20 m, camada essa onde se verifica a profundidade do sistema radicular das culturas implantadas na área.

Os pontos foram georreferenciados utilizando-se GNSS acoplado à estação total (Leica modelo GS-900) em sistema pós-processado, aparelho GNSS de navegação da marca Garmin modelo Etrex 30 e app Trimble Outdoors Navigator instalado em um celular smartphone marca Sony, modelo M4 Aqua. A Figura 1 apresenta o esquema de amostragem.

As amostras de solo coletadas foram devidamente identificadas e posteriormente levadas ao Laboratório de Solos, de onde foram secas ao ar (TFSA), destorroadas mecanicamente, passadas por uma peneira com malha de 2 mm e por fim foram realizadas as análises físicas e químicas de cada amostra, em triplicata.

O atributo físico do solo avaliado foi à textura, onde foram mensuradas as frações areia total (areia fina mais areia grossa), silte e argila, pela análise granulométrica da fração terra fina (< 2mm), seguindo o método da pipeta. Para a caracterização química do solo, foram mensurados os valores de acidez ativa em água (pH) por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo/líquido (água) 1:2,5 e matéria orgânica do solo (MOS). Todas as análises mencionadas anteriormente foram realizadas conforme a metodologia descrita pela Embrapa (2011).

Figura 1 - Esquema de amostragem utilizando-se os métodos de posicionamento: app Trimble Outdoors Navigator, GNSS Garmin eTrex 30 e Estação total Leica.



Fonte: elaborado pelos autores.

Inicialmente, os dados foram submetidos à análise pela estatística descritiva, onde foram calculadas as medidas de posição (média, mediana, mínimo, máximo), medidas de dispersão (amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação), medidas de assimetria, medidas de curtose e teste de normalidade de Anderson-Darling utilizando o programa Minitab 17.

Posteriormente, para caracterizar a variabilidade e a dependência espacial dos atributos do solo, aplicou-se a geoestatística por meio de semivariogramas, mediante uso do programa GS+, que utiliza a menor soma do quadrado dos resíduos (SQR) e o maior coeficiente de determinação (R^2), sendo testados os modelos esférico, exponencial, gaussiano, linear e efeito pepita puro. Sendo que a validação dos semivariogramas foi definida a partir do método das isolinhas, se considerando a isotropia em todos os modelos ajustados, deste modo indicando que existe um padrão de distribuição na variabilidade em todas as direções.

Nos semivariogramas ajustados foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita (C_0); patamar ($C_0 + C$) e alcance da dependência espacial (a). Segundo Cambardella *et al.* (1994), o quociente entre o efeito pepita e o patamar, $C_0/(C_0 + C)$, permite a classificação da dependência espacial dos resultados. A interpretação proposta para o avaliador da dependência espacial foi conforme metodologia proposta por Dalchiavon e Carvalho (2012).

Após essa etapa, realizou-se a validação cruzada como método de decisão final do melhor modelo do semivariograma ajustado por meio da avaliação do maior valor do coeficiente de correlação (CR) e melhor coeficiente de determinação (R^2), assim como a determinação de seus parâmetros e o tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor malha de krigagem, realizada por meio da krigagem em blocos.

Com a estimativa dos semivariogramas experimentais e o ajuste dos modelos teóricos, realizaram-se a interpolação dos dados pelo método da krigagem e posteriormente a confecção dos mapas de isolinhas, utilizando o programa Surfer. Optou-se pela krigagem em blocos por gerar mapas com uma superfície mais suavizada quando comparada à krigagem pontual.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 contém os resultados da análise descritiva para areia, silte, argila, matéria orgânica no solo (MOS) e potencial hidrogeniônico (pH). Nota-se que os valores de média e mediana dos atributos avaliados apresentaram-se bem próximos, que para Campos *et al.* (2012) é um indicativo de distribuição de dados simétricos. Esses Resultados corroboram com os estudos de Lima *et al.* (2015), que analisaram a variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação.

Tabela 1 - Análise estatística descritiva dos atributos do solo: areia (g kg^{-1}), silte (g kg^{-1}), argila (g kg^{-1}), matéria orgânica no solo (g dm^{-3}) e potencial hidrogeniônico (pH) na camada de 0,00-0,20 m.

Var	Média	Med	Min	Max	A	σ	CV	Cs	Ck	AD
Areia	522,75	528,00	448,00	606,00	158,00	34,64	6,63	-0,20	-0,35	0,488 ^N
Silte	96,19	95,00	16,00	163,00	147,00	29,74	30,92	0,07	0,10	0,419 ^N
Argila	381,05	378,00	294,00	470,00	176,00	31,51	8,27	0,22	0,80	0,576 ^N
MOS	19,280	19,000	12,500	32,80	20,300	3,167	16,43	0,91	3,10	0,390 ^N
pH	6,2276	6,2100	5,3700	7,2300	1,8600	0,3838	6,16	0,25	-0,03	0,364 ^N

Var: Variáveis; Med: Mediana; Min: Mínimo; Max: Máximo; A: Amplitude; σ : Desvio padrão; CV: Coeficiente de variação (%); Cs: Coeficiente de assimetria; Ck: Coeficiente de curtose; AD: Significância estatística do teste de Anderson-Darling; ^(N): Distribuição normal; MOS: Matéria orgânica no solo; pH: Potencial hidrogeniônico.

Fonte: elaborado pelos autores.

Em relação ao coeficiente de variação (CV), esse pode ser classificado de acordo com Fonseca e Martins (2010) como muito alto para silte, médio para MOS e baixo para as variáveis argila, areia e pH. Esses Resultados são semelhantes aos encontrados por Dias *et al.* (2015), que ao trabalharem com probabilidade de ocorrência dos atributos químicos em um Latossolo sob plantio direto também encontraram valor médio de CV para MOS e baixo para pH. Essas variações de CV encontradas nesse ensaio podem estar relacionadas ao manejo praticado na área de estudo, uma vez que o solo dessa possui um histórico de uso de cerca de 10 anos, no qual se utiliza método convencional de preparo do solo, com aração e gradagem.

Em relação aos coeficientes de assimetria (Cs) e curtose (Ck), esses se apresentaram próximos de zero para todos os atributos avaliados, demonstrando assim que os dados tendem a apresentar distribuição simétrica. Conforme os valores de Ck, as curvas correspondentes à distribuição de frequência dos atributos areia, silte, argila e pH é leptocúrtica ou alongada ($Ck < 2,63$), ou seja, possui pico mais afunilado que a curva de distribuição normal. Já o atributo MOS apresentou $Ck > 2,63$, o que implica em uma curva de distribuição de frequência platicúrtica, ou seja, é mais achatada que a curva de distribuição normal. Segundo Coelho, Cortez e Olszewski (2012), a distribuição leptocúrtica representa uma menor variação e frequência modal mais acentuada e a distribuição platicúrtica demonstra maior intervalo de variação entre os dados, distribuídos em menor frequência na classe modal.

A aplicação do teste de distribuição de frequência de probabilidade de Anderson-Darling ao conjunto

de dados indicou normalidade para todos os parâmetros avaliados, embora esta condição de normalidade não seja uma exigência para aplicação de técnicas geoestatísticas, sendo mais importante nesse caso que a distribuição não se apresente muito alongada, o que poderia comprometer as estimativas de krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (LIMA *et al.*, 2015). Neste caso, a aplicação da geoestatística, se torna fundamental para verificar se há variabilidade espacial e como esta variabilidade está imposta na área em estudo (FERRAZ *et al.*, 2017).

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises geoestatísticas que auxiliaram na compreensão e visualização do comportamento dos atributos avaliados na área de estudo. Podem-se observar diferenças entre os tipos de receptores utilizados, principalmente quando se compara os modelos ajustados dos semivariogramas, demonstrando tendências desiguais para os diferentes receptores GNSS em uma mesma área amostral.

Todas as variáveis estudadas exibiram dependência espacial, com exceção do receptor app para às variáveis areia e argila e Etrex 30 para a variável areia, os quais apresentaram distribuição aleatória (efeito pepita puro), ou seja, a variável estudada é independente espacialmente, onde o seu C_0 (efeito pepita) é igual a $C_0 + C$. Esse efeito pode ser causado pela não detecção da estrutura de variabilidade espacial em distâncias menores do que a menor distância de amostragem utilizada (KAMIMURA *et al.*, 2013). Sendo assim, neste caso não foi possível encontrar valores maiores que a distância dos pontos amostrais, permitindo assim o uso da estatística clássica.

Esses resultados demonstram que a qualidade de posicionamento obtida no georreferenciamento das amostras interferiu na modelagem da distribuição espacial dessas variáveis e/ou a distância entre pontos utilizados para indicar dependência espacial pode ter sido insuficiente. Campos *et al.* (2013) verificaram dependência espacial para as variáveis areia, silte e argila ao trabalharem com a variabilidade espacial de atributos físicos de Argissolo Vermelho sob floresta utilizando uma malha amostral com pontos espaçados em 10 m x 10 m e georreferenciados com equipamento de GNSS Garmin Etrex.

Em relação aos modelos de semivariograma, para o receptor app nas variáveis silte, pH e MOS o modelo ajustado foi o gaussiano. Para o Etrex 30, ajustou-se o modelo gaussiano a silte, esférico a argila e exponencial a MOS. No receptor GNSS acoplado à ET, foi ajustado o modelo esférico às variáveis areia, silte e pH, enquanto que para argila e MOS ajustou-se respectivamente, exponencial e Gaussiano.

Negreiros Neto (2014) avaliando a variabilidade espacial de atributos físicos-químicos de um latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema de plantio direto encontraram melhores ajuste para pH e MOS ao modelo esférico. Araújo *et al.* (2014) verificaram ajuste ao modelo esférico para areia e silte e exponencial para argila ao estudar os atributos físicos em solo submetido à diferentes tipos de uso e manejo.

Quanto ao avaliador de dependência espacial (ADE), foi observado que a variação entre os receptores foi baixa (0,865 a 1,0) e que todos apresentam dependência muito alta para os atributos avaliados (MA), conforme a classificação proposta por Dalchiavon e Oliveira (2012). Segundo Cambardella *et al.* (1994), as variáveis classificadas como forte dependência espacial podem ser mais influenciadas por propriedades intrínsecas do solo, ou seja, pelos fatores de formação do solo, enquanto a dependência espacial moderada possivelmente pode estar relacionada com a homogeneização do solo. Além disso, de acordo com Gazola *et al.* (2017), pode-se inferir que devido à alta dependência espacial, o dimensionamento utilizado na malha amostral deste estudo pode ser considerado suficiente para avaliar a variabilidade espacial desses atributos.

Os valores de alcance da dependência espacial dos atributos variaram entre 27,4 m (Etrex 30 - argila) e 68,58 m (app - MOS). Para as variáveis pH e MOS, os maiores valores de alcance foram observados com uso do receptor app, enquanto que para silte e argila, os maiores valores de alcance são observados respectivamente com os receptores Etrex 30 e GNSS - ET. O conhecimento do alcance de dependência espacial possibilita determinar o raio de amostragem para cada receptor, sendo que nesse estudo, os

valores para esse parâmetro mostraram-se diferentes entre os atributos avaliados e situaram-se acima do estipulado na malha amostral.

Tabela 2 - Parâmetros de ajuste do semivariograma experimental para os atributos físicos e químicos do solo e os respectivos métodos de posicionamento.

Receptor	Modelo	Co ⁽¹⁾	Co+C ⁽²⁾	C ⁽³⁾	a ⁽⁴⁾ (m)	R ² ⁽⁵⁾	SQR ⁽⁶⁾	ADE ⁽⁷⁾	Classe
Areia									
App	EPP ⁽⁸⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
Etrex 30	EPP ⁽⁸⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
GNSS - ET	ESF ⁽⁹⁾	48,00	1237,00	1189,0	50,50	0,187	70708	0,961	MA
Silte									
App	GAU ⁽¹⁰⁾	1,00	909,00	908,0	64,08	0,804	151105	0,998	MA
Etrex 30	GAU ⁽¹⁰⁾	1,00	896,00	895,0	65,81	0,727	215237	0,998	MA
GNSS - ET	ESF ⁽⁹⁾	23,00	903,00	880,0	58,60	0,340	50784	0,974	MA
Argila									
App	EPP ⁽⁸⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
Etrex 30	ESF ⁽⁹⁾	33,00	985,00	952,0	27,40	0,00	139549	0,966	MA
GNSS - ET	EXP ⁽¹¹⁾	84,00	989,00	905,0	72,60	0,553	21138	0,915	MA
Potencial hidrogeniônico (pH)									
App	GAU ⁽¹⁰⁾	0,00	0,14	0,14	55,94	0,742	3,83E ⁻³	1,000	MA
Etrex 30	ESF ⁽⁹⁾	0,00	0,144	0,144	44,20	0,730	2,729E ⁻⁴	1,000	MA
GNSS- ET	ESF ⁽⁹⁾	0,00	0,145	0,145	41,90	0,067	2,284E ⁻⁴	1,000	MA
Matéria orgânica do solo (MOS)									
App	GAU ⁽¹⁰⁾	0,01	10,83	10,82	68,58	0,806	18,7	0,999	MA
Etrex 30	EXP ⁽¹¹⁾	1,41	10,46	9,05	54,60	0,296	8,71	0,865	MA
GNSS - ET	GAU ⁽¹⁰⁾	1,4100	10,5700	9,16	54,213	0,522	4,61	0,892	MA

Alcance; ⁽⁵⁾: Coeficiente de determinação; ⁽⁶⁾: Soma dos quadrados do erro; ⁽⁷⁾: Avaliador da dependência espacial; ⁽⁸⁾: Efeito pepita puro; ⁽⁹⁾: Modelo esférico; ⁽¹⁰⁾: Modelo gaussiano; ⁽¹¹⁾: Modelo exponencial; ⁽¹²⁾: Moderado.

Fonte: elaborado pelos autores.

Para a determinação do erro associado ao modelo geoestatístico criado, utilizou-se a validação cruzada para medir a incerteza associada às estimativas obtidas das coordenadas das amostras de solo. Segundo Amado *et al.* (2007), a validação é realizada comparando os valores estimados com os valores reais, usando a regressão linear como critério de comparação. Os parâmetros da validação cruzada dos modelos teóricos de semivariância ajustados para as variáveis amostradas estão apresentados na Tabela 3.

Observa-se que os melhores valores de coeficiente de regressão para os semivariogramas dos receptores em relação aos atributos areia, silte, argila, pH e MOS foram respectivamente: GNSS - ET, app, Etrex 30, GNSS - ET e Etrex 30. Em todos os casos supracitados os valores amostrados se afastaram pouco da linha dos valores estimados, entretanto tem sua confiança assegurada, uma vez que possuem ADE muito forte. Em relação ao erro padrão (SE), todos os modelos se mantiveram próximos do valor de referência (zero), no entanto, o modelo representado pelo receptor Etrex30 para o atributo MOS apresentou uma maior discrepância, assumindo o valor de 2,992.

Tabela 3 - Parâmetros da validação cruzada para os atributos areia silte, argila, pH e MOS estimados com diferentes receptores GNSS.

Receptor	CR ⁽¹⁾	Y ⁽²⁾	SE ⁽³⁾	R ² ⁽⁴⁾
Areia				
App	-	-	-	-
Etrex 30	-	-	-	-
GNSS - ET	1,107	-58,86	0,237	0,221
Silte				
App	0,800	20,23	0,094	0,487
Etrex 30	0,736	26,03	0,092	0,454
GNSS - ET	1,207	-17,16	0,162	0,418
Argila				
App	-	-	-	-
Etrex 30	0,785	81,26	0,306	0,079
GNSS - ET	0,469	202,26	0,221	0,055
Potencial hidrogeniônico (pH)				
App	0,095	5,64	0,124	0,008
Etrex 30	0,261	4,61	0,311	0,009
GNSS - ET	0,331	4,17	0,344	0,012
Matéria orgânica do solo (MOS)				
App	0,261	14,26	0,094	0,090
Etrex 30	0,928	1,49	2,992	0,107
GNSS - ET	0,516	9,38	0,166	0,112

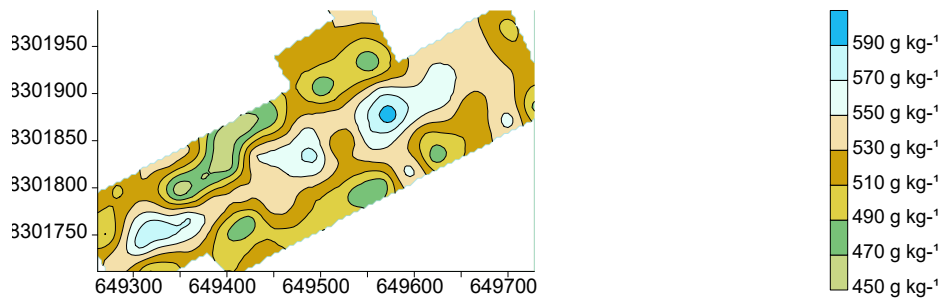
⁽¹⁾: Coeficiente de regressão; ⁽²⁾: Intercepto; ⁽³⁾: Erro padrão; ⁽⁴⁾: Coeficiente de determinação.

Fonte: elaborado pelos autores.

Após os ajustes dos semivariogramas para cada receptor em cada atributo do solo analisado, realizou-se a interpolação dos valores na área de estudo por estimativa de krigagem ordinária, a qual, segundo Silva, Lima e Zucoloto (2011) usa a dependência espacial entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição dentro do espaço analisado. Partindo-se dessas estimativas, foram construídos os mapas temáticos de isolinhas para cada uma das variáveis.

A interpolação do modelo de ajuste para o atributo areia pelo método de posicionamento GNSS acoplado à estação total (Figura 2), revelou que essa variável regionalizada possui manchas de solo com predominância dos valores variando de 450 g kg⁻¹ a 590 g kg⁻¹.

Figura 2 - Mapa de krigagem para areia (g kg^{-1}) para o receptor GNSS - ET.



Fonte: elaborado pelos autores.

Os padrões de distribuição dos atributos silte (Figura 3 a, e c) e argila (Figura 4 a e b) se aproximam, indicando que esses atributos independem dos métodos de georreferenciamento, havendo um mesmo padrão dos mapas, indicando que se pode utilizar qualquer um desses métodos de posicionamento. Além disso, observa-se que os mapas das frações silte e areia apresentam dissimilaridade na localização dos maiores e menores valores dessas frações, de forma que onde se observam maiores concentrações de areia, menores as concentrações de silte, e vice-versa. Bottega *et al.* (2013) também verificaram os mesmos resultados quando determinaram a variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro.

Figura 3 - Mapas de krigagem para silte (g kg^{-1}) para os receptores (a): app, (b): Etrex 30 e (c): GNSS - ET.

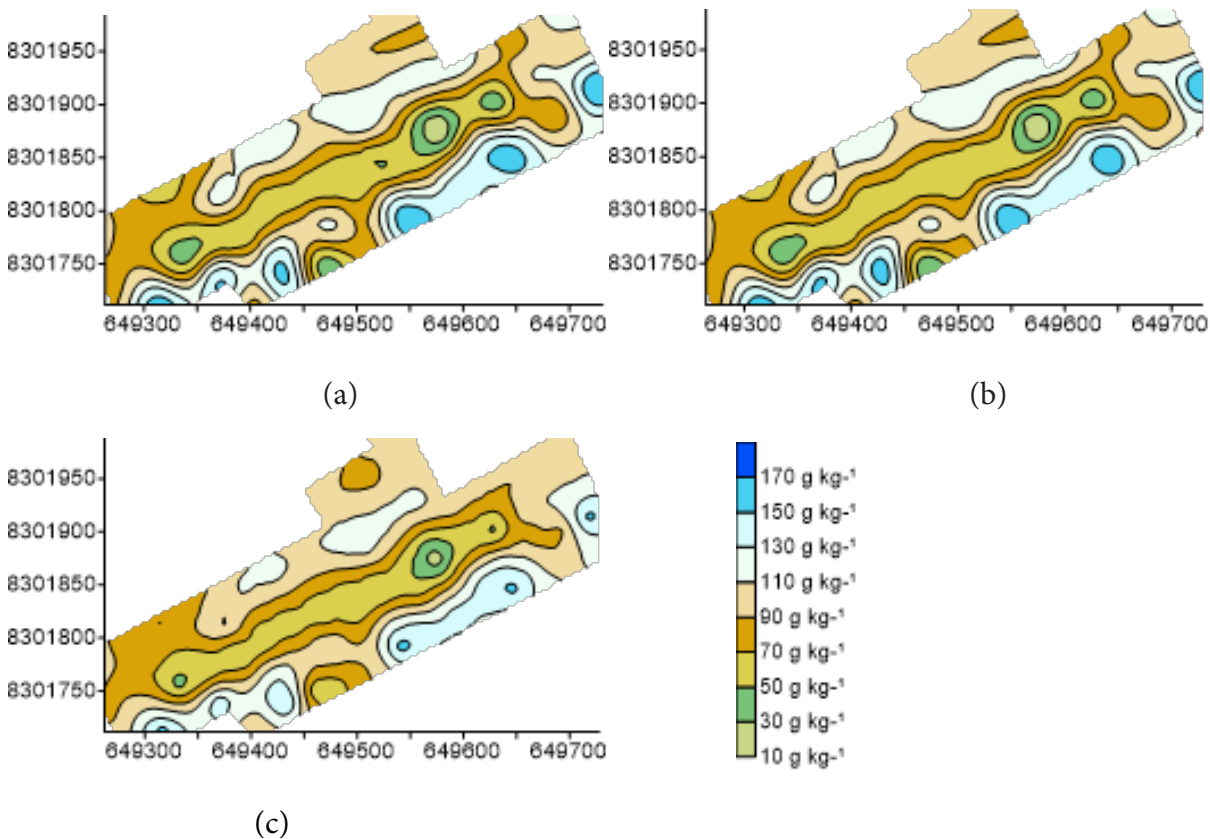
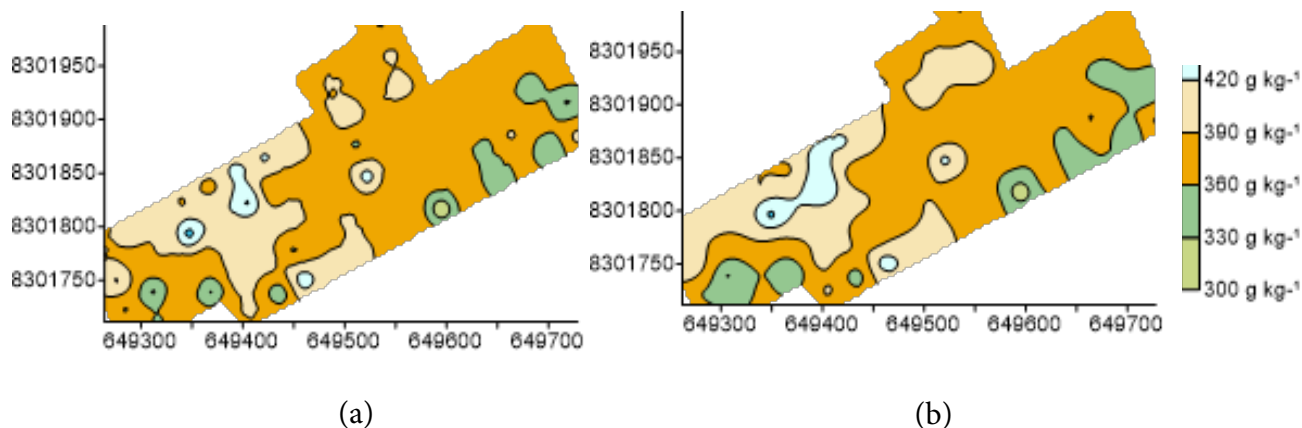


Figura 4 - Mapas de krigagem para argila (g kg^{-1}) para os receptores (a): Etrex 30 e (b): GNSS - ET.



Fonte: elaborado pelos autores.

Os mapas para os atributos pH (Figura 5 a, b e c) e MOS (Figura 6 a, b e c) também seguem uma distribuição similar para os métodos de posicionamento estudados. Na variável pH, observa-se que para os receptores Etrex e GNSS - ET, os mapas possuem padrões quase semelhantes, assim como para MOS, para os mesmos receptores supracitados.

Os mapas de distribuição espacial de pH e MOS podem servir como importante ferramenta para se conhecer as áreas com maior e menor disponibilidade desses atributos, o que permite definir a unidade de manejo por meio de estimativas de recomendações de correção do solo (calagem e gessagem) e incorporação de matéria orgânica.

Com base na escala da Figura 5, observa-se que o pH está variando de 5,3 a 7,3 e, além disso, conforme os mapas, verifica-se que a faixa predominante para esse atributo está entre 5,7 e 6,5, o que caracteriza o solo da área de estudo como ainda apto para cultivo da maioria das culturas agrícolas.

Figura 5 - Mapas de krigagem para potencial hidrogeniônico (pH) para os receptores (a): app, (b): Etrex 30 e (c): GNSS - ET.

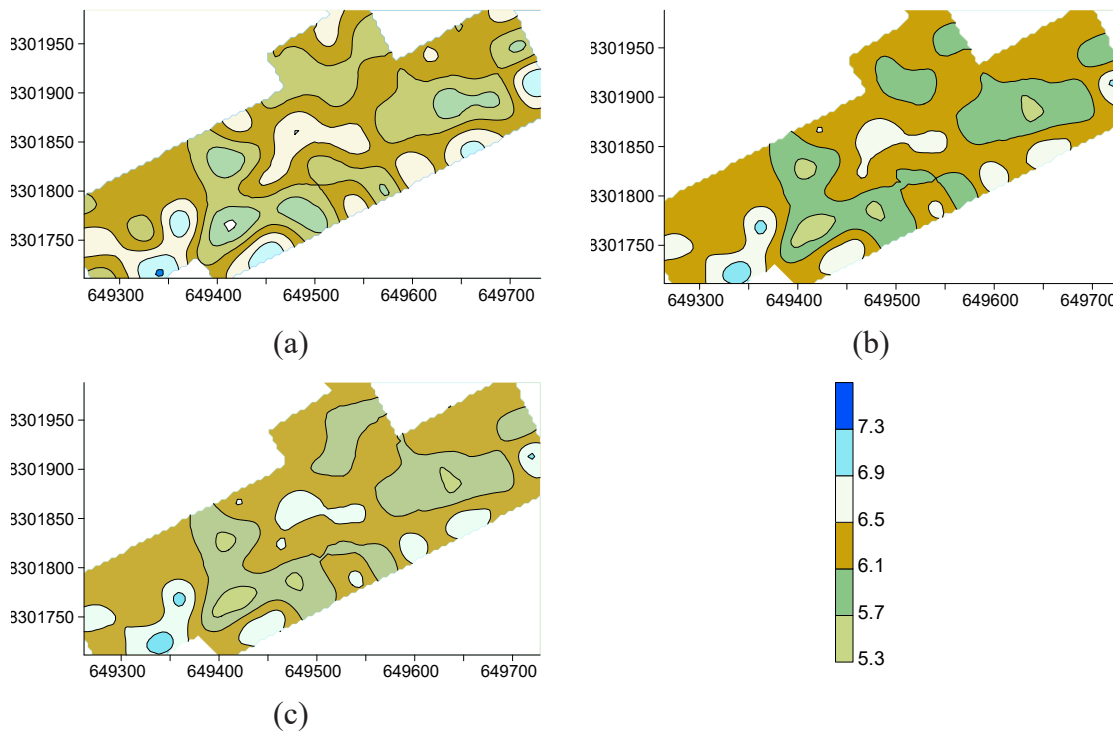
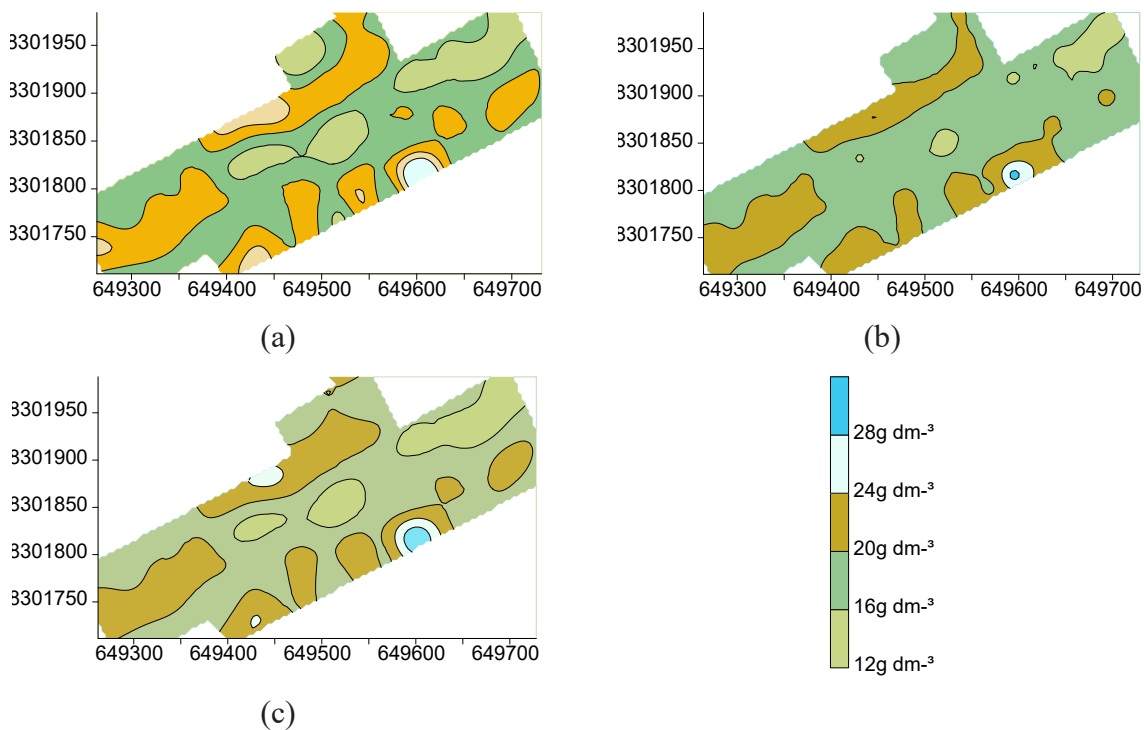


Figura 6 - Mapas de krigagem para matéria orgânica do solo (MOS) para os receptores (a): app, (b): Etrex 30 e (c): GNSS - ET.



CONCLUSÃO

Os métodos de posicionamento GNSS acoplado à Estação Total, Etrex 30 e app Trimble Outdoors Navigator permitiram mapear a dependência espacial para as variáveis silte, pH e matéria orgânica no solo com padrões semelhantes.

O receptor GNSS acoplado à Estação Total ajustou-se para todas as amostragens efetuadas. A variável areia se ajustou apenas para a Estação Total e a argila para Estação Total e Etrex 30, tendo esse comportamento ocorrido devido à malha amostral utilizada.

REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C; PONTELLI, C. B; SANTI, A. L; VIANA, J. H. M; SULZBACH, L. A. S. Variabilidade Espacial e Temporal da Produtividade de Culturas Sob Sistema Plantio Direto. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1101-1110, 2007.
- AQUINO, R. E; MARQUES JÚNIOR, J; CAMPOS, M. C. C; OLIVEIRA, I. M; SIQUEIRA, D. S. Distribuição espacial de atributos químicos do solo em área de pastagem e floresta. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 32- 41, 2014.
- ARAÚJO, D. R; MION, R. L; SOMBRA, W. L; ANDRADE, R. R; AMORIM, M. Q. Variabilidade espacial de atributos físicos em solo submetido à diferentes tipos de uso e manejo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 2, p.101-105, 2014.
- BERNARDI, A. C. C; TUPY, O; SANTOS, K. E. L; MAZUCCO, G. G; BETTIOL, G. M; RABELLO, L. M; INAMASU, R. Y. Mapping of yield, economic return, soil electrical conductivity, and management zones of irrigated corn for silage. **Revista Pesquisa Agropecuária**, Brasília, v. 53, n. 12, 2018.
- BOTTEGA, E. L; QUEIROZ, D. M; PINTO, F. A. C; SOUZA, C. M. A. 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.
- CAMARGO, L. A; MARQUES JÚNIOR, J; PEREIRA, G. T. Spatial variability of physical attributes of an Alfisol under different hillslope curvatures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.617-630, 2010.
- CAMBARDELLA, C. A; MOORMAN, T. B; NOVAK, J; 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 American Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M. C. C; MARQUES JÚNIOR, J; PEREIRA, G. T; SOUZA, Z. M; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.297-304. 2009.
- CAMPOS, M. C. C; OLIVEIRA, I. A; SANTOS, L. A. C; AQUINO, R. E; SOARES, M. R. D. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. **Revista Agroambiente On-line**, v. 6, n. 1, p. 09-16, 2012.
- CAMPOS, M. C. C; SOARES, M. D. R; SANTOS, L. A. C; OLIVEIRA, I. A; AQUINO, R. E. A; BERGA-

MIN, A. C. Variabilidade espacial dos atributos físicos em um Argissolo Vermelho sob floresta. **Revista Comunicata Scientiae**, v. 40, n. 2, p. 168 – 178, 2013.

COELHO, D. S; CORTEZ, J. W; OLSZEWSKI, N. Variabilidade espacial da resistência mecânica à penetração em Vertissolo cultivado com manga no perímetro irrigado de Mandacaru, Juazeiro, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, n. 3, p. 755-763, 2012.

DALCHIAVON, F. C; CARVALHO, M. P. Correlação Linear e Espacial dos Componentes de Produção e Produtividade da Soja. **Revista Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 541-552, 2012.

DIAS, M. J; ALVES, S. M. F; REIS, E. F. D; OLIVEIRA, D. G. D. Probabilidade de ocorrência dos atributos químicos em um Latossolo sob plantio direto. **Revista Caatinga**, v.28, n. 4, p. 181-189, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2011. 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

FERRAZ, G. A. S; SILVA, F. M; OLIVEIRA, M. S; CUSTÓDIO, A. A. P; FERRAZ, P. F. P. Variabilidade espacial dos atributos da planta de uma lavoura cafeeira. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 81-91, 2017.

FONSECA, J.S; MARTINS, G.A. **Curso de estatística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010. p.147-148.

GAZOLA, R. N; LOVERA, L. H; CELESTRINO, T. S; DINALLI, R. P; MONTANARI, R; QUEIROZ, H. A. Variabilidade espacial das concentrações de nutrientes foliares da soja correlacionadas com atributos químicos de um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Ceres**, v.64, n. 4, p. 441-449, 2017.

KAMIMURA, K. M; SANTOS, G. R; OLIVEIRA, M. S; DIAS JÚNIOR, M. S; GUIMARÃES, P. T. G. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-amarelo, sob lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 37, n. 2, p. 877-888, 2013.

LIMA, F. V; SILVINO, G. S; MELO, R. S. S; LIRA, E. C; RIBEIRO, T. S. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 53-63, 2015.

MILLER, M. P.; SINGER, M. J.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, n. 4, p. 1133-1141, 1988.

NEGREIROS NETO, J. V; SANTOS, A. C; GUARNIERI, A; SOUZA, D. J. A. T; DARONCH, D. J; DOTTO, M. A; ARAÚJO, A. S. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema de plantio direto. **Revista Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 193-204, 2014.

ROSALEN, D. L; RODRIGUES, M. S; CHIODEROLI, C. A; BRANDÃO, F. J. C; SIQUEIRA, D. S. Receptores GPS para georreferenciamento da variabilidade espacial de atributos do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p. 1162-1169, 2011.

SEGANTINE, P. C. L. **GPS: Sistema de posicionamento global**. São Carlos: EESC, 2005.

SILVA JUNIOR, C.A; MEURER, I; CARVALHO, L.A. Analysis of the accuracy of GPS receivers for navigation in territorial planimetry. **Agrarian**, v. 2, n. 5, p. 21-31, 2009.

SILVA, S. A; LIMA, J. S. S; ZUCOLOTO, M. Distribuição espacial das frações granulométricas em um Latossolo Vermelho utilizando krigagem indicativa. **Engenharia na Agricultura**. v. 19, n. 3, p. 195-202, 2011.