

VARIABILIDADE ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DE UM SOLO COESO RELACIONADA COM ARGILA

SPACIAL VARIABILITY OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF A COHESIVE SOIL RELATED WITH CLAY

Klayton Antonio do Lago LOPES^{1*}; Francisco Ivo dos Santos AGUIAR¹; Ismênia Ribeiro de OLIVEIRA²; Jussara Silva DANTAS³; Grazieli Brito da SILVA⁴.

¹Alunos de iniciação científica do curso de Agronomia da Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-MA.

Autor principal: klaytonlopes2011@gmail.com

²Docente da Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-MA, Brasil.

³Docente da Universidade Federal de Campina Grande, CCTA/UACTA/ Pombal-PB, Brasil.

⁴Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal do Maranhão.

RESUMO

Estudos apontam a Condutividade Elétrica (CE) do solo como um indicador de suas características físicas e químicas. Neste estudo objetivou-se avaliar a variabilidade espacial da CE de um Latossolo Amarelo Distrocoeso e relacioná-la com os teores de argila em dois sistemas de manejo. O experimento foi instalado em duas áreas de produção de soja: uma com Sistema de Plantio Direto (SPD) e a outra com sistema Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Em cada área de produção foi instalada uma malha amostral com 50 pontos espaçados regularmente em 40 m. Sob cada ponto foram coletadas amostras na profundidade de 0,00-0,20 m para a determinação do teor de argila e CE. A estrutura de dependência espacial foi caracterizada por meio da geoestatística. A CE e a argila apresentaram maiores valores de alcance no solo com manejo ILP, indicando que estes atributos apresentaram menor heterogeneidade nesse manejo. O teor de argila apresentou estrutura de dependência espacial em ambos os sistemas de manejo, enquanto que para a CE somente foi verificada no manejo com ILP. A condutividade elétrica apresentou baixa correlação com o teor de argila no Latossolo Amarelo Distrocoeso sob o sistema de manejo integração lavoura-pecuária. Palavras-chave: Geoestatística. Sistema agropastoril. Sistema de plantio direto. Krigagem ordinária.

ABSTRACT

Studies point out the Electrical Conductivity (EC) of the soil as an indicator of its physical and chemical characteristics. The objective of this study was to evaluate the spatial

variability of the EC of Oxisoil (Yellow Latosol) and to relate it to the clay contents in two management systems. The experiment was installed in two areas of soybean production: one with non-tillage system and the other with crop-livestock integration system. In each production area a sample mesh was installed with 50 points spaced regularly in 40 m. Under each point samples were collected at a depth of 0.00-0.20 m for the determination of clay content and EC. The structure of spatial dependence was characterized by means of Geostatistics. EC and clay presented higher soil reach values with crop-livestock management, indicating that these attributes presented lower heterogeneity in this management. The clay content presented a structure of spatial dependence in both management systems, whereas for the EC it was only verified in the management with crop-livestock. The electrical conductivity presented a low correlation with the clay content in the Oxisoil under the crop-livestock integration management system.

Keywords: Geostatistics. Non-tillage system. Crop-livestock integration system. Ordinary kriging.

INTRODUÇÃO

A produção agrícola encontra-se em pleno crescimento e depende cada vez mais de sistemas que permitam reduzir o consumo de insumos e amenizar os impactos ambientais da atividade (ROMERO *et al.*, 2015). A geoestatística visa reduzir os efeitos da variabilidade do solo sobre o cultivo agrícola, otimizar a produtividade e minimizar possíveis danos ambientais por meio da descrição da variabilidade espacial dos atributos do solo, a qual pode ser utilizada para compreender as relações entre o solo, as práticas agrícolas utilizadas e as respostas das plantas, além de fornecer informações para a prática de adubações, correções e manejo de forma localizada (ZONTA *et al.*, 2014; MONTANARI *et al.*, 2013).

Na tentativa de desenvolver técnicas de medida indireta de propriedades do solo, a Condutividade Elétrica (CE) deste tem se destacado. Uma de suas utilidades na agricultura provém do fato de que a massa do solo, com sua variabilidade na composição físico-química, apresenta diferentes níveis de CE (MOLIN e RABELLO, 2011). Os métodos de determinação dos atributos físicos e químicos do solo são em geral caros e demandam grande quantidade de tempo e mão de obra. Por outro lado, a mensuração da CE surge como uma forma mais rápida e barata, podendo ser utilizada como medida indireta para caracterizar a variabilidade espacial com menor custo. A CE pode ser utilizada como indicador de propriedades como salinidade, umidade, textura e algumas propriedades químicas de interesse agrícola, como a CTC, nos quais estão concentradas as principais linhas de estudo (MOLIN e RABELLO, 2011).

O solo estudado neste trabalho pertence às classes de solos desenvolvidas a partir de sedimentos da Formação Barreiras da unidade geomorfológica Tabuleiros Costeiros e que possuem horizontes coesos definidos como horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados, com consistência dura a extremamente dura, quando secos, e friável quando úmidos (EMBRAPA, 2013). Essas características inibem a infiltração de água, a absorção de nutrientes e o desenvolvimento radicular das plantas, afetando a produção agrícola (VIEIRA *et al.*, 2012). Em particular, estudos sobre a variabilidade espacial dos atributos dos solos coesos no estado do Maranhão ainda são escassos. Assim, com este estudo objetivou-se avaliar a variabilidade espacial da condutividade elétrica de um Latossolo Amarelo Distrocoeso e relacioná-la com os teores de argila em dois sistemas de manejo.

MATERIAL E MÉTODO

O estudo foi desenvolvido no município de Brejo, Maranhão, Brasil. As coordenadas centrais da área em estudo são 3°42'10,4"S e 42°57'09,8"W (Figura 1). Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima é do tipo Aw, tropical com estação seca de inverno, com temperatura média de 27,19°C e precipitação média anual em torno de 1,748 mm. O solo estudado foi classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso, formado por sedimentos areno-argilosos do Grupo Barreiras, característicos da unidade geomorfológica Tabuleiros Costeiros (ATLAS DO MARANHÃO, 2002).

O experimento foi instalado em duas áreas de produção de soja: uma com Sistema de Plantio Direto (SPD) e a outra com Integração Lavoura-Pecuária (ILP) (Figura 1). A área SPD é caracterizada pela utilização do sistema desde 2004 por meio da rotação das culturas de soja e milho. Na área ILP, instalada em 2009, ocorreu o plantio de milho, braquiária e soja, sendo o milho e a braquiária plantados conjuntamente. Após a retirada do milho, a braquiária foi utilizada para a engorda de gado bovino. As áreas possuem 80 ha ao todo, sendo divididas em três piquetes para rotação de pastagem, na qual o gado permanece durante 30 dias em cada piquete. Em cada área de produção foi instalada uma malha amostral constituída de 50 pontos com espaçamento regular de 40 m. Em cada ponto da malha foram coletadas amostras na profundidade de 0,00-0,20 m.

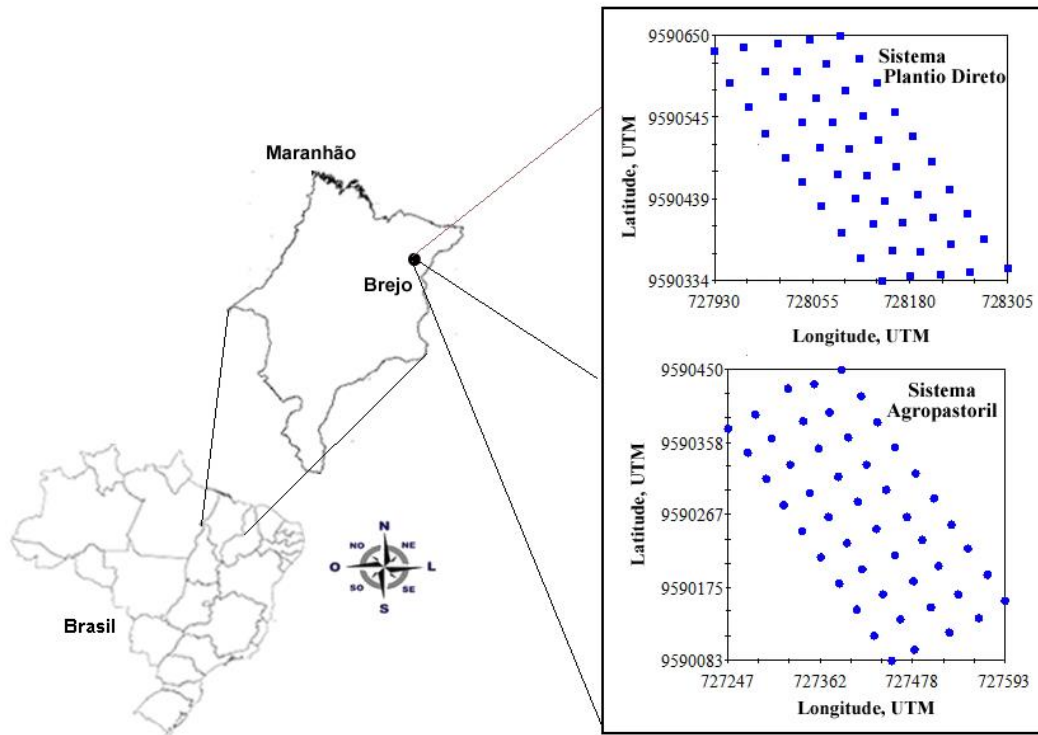
Foram analisados os atributos CE pelo método de Donagema *et al.*, (2011) e o teor de argila segundo o método da Embrapa (1997). As estatísticas descritivas (média, mediana, coeficiente de variação, mínimo, máximo, assimetria e curtose) foram conduzidas com o objetivo de obter informações para identificar tendência, dispersão e forma de distribuição dos dados. Para verificar a hipótese de normalidade dos dados foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade. A análise da correlação entre a CE e o teor de argila foi obtida por meio do coeficiente de correlação de Pearson.

A variabilidade espacial dos atributos foi caracterizada por meio do variograma, estimado por meio do cálculo da variância em razão da distância de separação entre amostras (equação1),

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

em que $\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância experimental para uma distância de separação h ; $z(x_i)$ é o valor da propriedade no ponto i ; e $N(h)$ é o número de pares de pontos separados pela distância h . Conforme o ajuste do modelo matemático, foram definidos os parâmetros do modelo teórico para o variograma (o efeito pepita, C_0 ; variância estrutural, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a). O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (SOARES, 2006). A escolha dos modelos teóricos dos variogramas e o ajuste de seus parâmetros baseou-se na técnica de validação cruzada por meio da estimativa do coeficiente de determinação (R^2) entre os valores observados e estimados pelo modelo. Modelos com valores de R^2 mais próximos de 1 foram aqueles que caracterizam o modelo mais eficiente para expressar o fenômeno estudado. A classificação do Grau de Dependência Espacial (GDE) foi feita com base na razão entre o efeito pepita e o patamar ($C_0/(C_0 + C_1)$), sendo considerada forte quando $\leq 25\%$; moderado quando $25\% < \text{GDE} \leq 75\%$; e fraco quando $\text{GDE} > 75\%$ (CAMBARDELLA *et al.*, 1994).

Figura 1 – Localização da área experimental e distribuição dos pontos de amostragem.



Após a modelagem dos variogramas, foi utilizada a técnica de Krigagem Ordinária (KO) para a interpolação de valores em locais não mostrados (SOARES, 2006). Essa técnica é baseada em uma média móvel ponderada das amostras vizinhas (equação 2),

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i), \text{ com, } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

na qual $\hat{z}(x_0)$ é o valor estimado no ponto 0; N é o número de valores utilizados na estimação; λ é o peso associado a cada valor observado; e $z(x_i)$ é o valor observado no ponto i. Os pesos (λ_i) de cada vizinho são determinados utilizando-se o modelo do semivariograma ajustado, resultando em uma estimativa de variância mínima (SOARES, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A CE apresentou baixos valores em ambos os sistemas de manejo (Tabela 1), que podem ser atribuídos à própria condição do solo, que é arenoso e ácido, e embora haja uma alta evapotranspiração, aquele é lavado durante o período chuvoso, apresentando altas precipitações em curtos períodos. O teor médio de argila no SPD foi de 18,5%; e no ILP, 15,2%, condizendo com o teor médio encontrado nos solos coesos, que é de 12% a 15%. Com

exceção da CE no SPD, os demais atributos avaliados apresentaram normalidade segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,05$). De acordo com Warrick e Nielsen (1980), a CE apresentou tanto no SPD quanto no ILP baixa variabilidade ($CV < 12\%$), e os teores de argila apresentaram média variabilidade (CV de 12% a 60%) nos dois sistemas.

Os coeficientes de assimetria (Ass.) da CE apresentaram valores considerados moderados ($0,15 < |Ass.| < 1$) e fraco para argila ($|Ass.| < 0,15$) nos dois sistemas de manejo (CRESPO, 2002). Os coeficientes de correlação apresentaram correlação negativa fraca ($0,3 \leq r < 0,6$) e muito fraca ($0 < |r| < 0,3$) para ILP e SPD, respectivamente (CRESPO, 2002).

A CE apresentou grau de dependência espacial (GDE) forte no sistema de manejo ILP, e efeito pepita puro (EPP) no SPD (Tabela 2). O teor de argila apresentou GDE forte para SPD e moderado para ILP, conforme Cambardella et al., (1994). Celinski e Celinski (2011) encontraram GDE forte tanto para CE quanto para argila, enquanto que Romero et al. (2015) encontraram GDE forte para argila, ambos corroborando o respectivo trabalho. Os variogramas, em ambos os sistemas de manejo, foram ajustados ao modelo esférico, sendo este modelo o mais utilizado para descrever o comportamento de atributos do solo (CAMBARDELLA *et al.*, 1994). A argila apresentou maior valor de alcance no solo com manejo ILP, indicando que esse atributo apresentou menor heterogeneidade nesse manejo.

Tabela 1 – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica (CE) e argila para os sistemas de manejo Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (SPD).

Atributo	Média	Mediana	CV	Mín.	Máx.	Ass.	Curt.	P-value
<u>Integração Lavoura-Pecuária</u>								
CE ($mScm^{-1}$)	0,0055	0,0055	9,00	0,0047	0,0065	0,20	-0,90	0,235*
Argila (gkg^{-1})	152,49	155,50	12,04	119,00	190,50	0,10	-0,95	0,063*
<u>Sistema Plantio Direto</u>								
CE ($mScm^{-1}$)	0,0053	0,0053	6,02	0,0046	0,0058	-0,46	-0,88	0,019
Argila (gkg^{-1})	185,46	182,50	13,07	123,50	235,00	-0,01	-0,37	0,49*

CV= Coeficiente de variação (%); Mín = Mínimo; Máx = Máximo; Ass. = Coeficiente de assimetria; Curt. = Coeficiente de curtose; P-value para o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade; (*) Variável com distribuição normal.

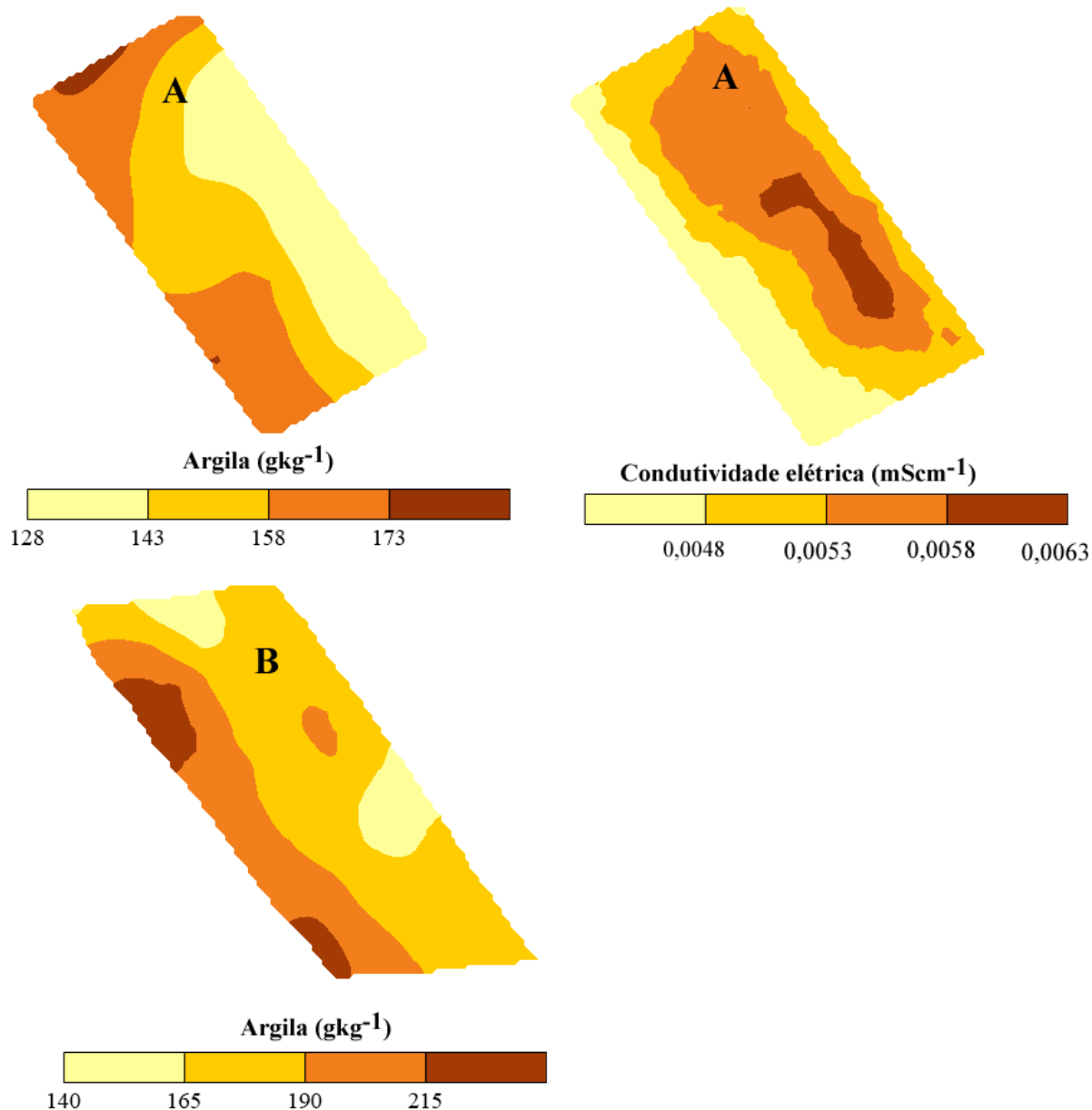
Tabela 2 – Modelos e parâmetros estimados dos variogramas experimentais para os atributos Condutividade Elétrica (CE) e argila para os sistemas de manejo Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Direto (SPD).

Atributo	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	Alcance (m)	GDE (%)	R ²
<u>Integração lavoura-pecuária</u>						
CE	Esférico	0,00	0,00	123,00	10,34	0,98
Argila	Esférico	111,45	379,10	167,42	29,40	0,99
<u>Plantio direto</u>						
CE	EPP	-	-	-	-	-
Argila	Esférico	121,61	605,24	112,70	20,09	0,98

C₀= Efeito pepita; C₀+C₁ = Patamar; GDE = Grau de Dependência Espacial $(C_0/(C_0+C_1))*100$; R² = Coeficiente de Determinação obtido na validação cruzada.

No sistema ILP (mapas A – Figura 2) foi observada relação inversa entre os valores de CE e argila, sendo que nas áreas que apresentam maiores teores de argila são encontrados menores valores de CE. Esse resultado pode ser explicado por sua característica arenosa, ácida e pela lixiviação decorrentes de altas precipitações no período chuvoso. A argila interfere na condutividade elétrica do solo devido aos cátions trocáveis presentes em sua composição e à água que fica associada à argila (REIS *et al.*, 2009). No SPD (mapa B), os teores de argila apresentam maior variabilidade em relação ao sistema ILP.

Figura 2 – Mapas de krigagem do teor de argila e da Condutividade Elétrica (CE) nos sistemas de manejo Integração Lavoura-Pecuária (ILP) (A) e Plantio Direto (SPD) (B).



CONCLUSÃO

A argila apresentou estrutura de dependência espacial em ambos os sistemas estudados, enquanto que para a condutividade elétrica somente foi verificada essa estrutura no manejo integração lavoura-pecuária.

A condutividade elétrica apresentou baixa correlação com o teor de argila no Latossolo Amarelo Distrocoeso sob o sistema de manejo Integração Lavoura-Pecuária.

REFERÊNCIAS

ATLAS DO MARANHÃO. *Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico/Laboratório de Geoprocessamento* - UEMA. 2.ed. São Luís: GEPLAN, 2002. 44p.

CAMBARDELLA, C. A. *et al.* Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of American Journal*, v.58, p.1501-1511, 1994

CELINSKI, V. G.; CELINSKI, T. M. Capacitância elétrica e sua correlação com atributos do solo visando aplicação na agricultura de precisão. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2., Botucatu. *Anais...* Botucatu, SP, 2011.

CRESPO, A. A. *Estatística fácil*. 17. ed. São Paulo: Saraiva, 2002. p.122-124.

DONAGEMMA, K. D. *et al.* *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2011.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de métodos de análises do solo*. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação do Solo*. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L.M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. *Engenharia Agrícola*, v.31, n.1, p.90-101, 2011.

MONTANARI, R. *et al.* Atributos químicos de um Latossolo espacialmente relacionados com a produtividade e componentes de produção do feijão em Selvíria (MS). *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.12, n.3, p.271- 281, 2013.

REIS, L. R., *et al.* Estudo da correlação da condutividade elétrica em um latossolo amarelo escuro com propriedades químicas do solo. *Reveng*, p.227-232, 2009.

ROMERO, C. W. S. *et al.* Variabilidade espacial da condutividade elétrica do solo correlacionados com a matéria orgânica e argila. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS. 4., Botucatu. Anais...Botucatu, SP. 2015.

SOARES, A. *Geoestatística para ciências da terra e do ambiente*. 2. ed. Lisboa: IST Press, 2006, 214p.

VIEIRA, J. M. *et al.* Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, p.623-632, 2012.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic, 1980. p.319-344.

ZONTA, J. H. *et al.* 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.