



CTC como atributo pedoindicador da matéria orgânica do solo.

Ronny Sobreira Barbosa⁽¹⁾; Márcio Cleto Soares de Moura⁽²⁾; Nara Núbia de Lima Cruz⁽³⁾; Géssica Marafon⁽⁴⁾; Gláucia Viana dos Santos⁽⁵⁾; Silvestre Lima de Sousa⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Professor Adjunto; Campus Professora Cinobelina Elvas – Universidade Federal do Piauí (CPCE-UFPI); Bom Jesus, Piauí; ronny.barbosa@ufpi.edu.br; ⁽²⁾ Professor Adjunto; Campus Professora Cinobelina Elvas – Universidade Federal do Piauí (CPCE-UFPI); Bom Jesus, Piauí; ⁽³⁾ Aluna de Mestrado; Campus Professora Cinobelina Elvas – Universidade Federal do Piauí (CPCE-UFPI); Bom Jesus, Piauí; ⁽⁴⁾ Aluna de Mestrado; Campus Professora Cinobelina Elvas – Universidade Federal do Piauí (CPCE-UFPI); Bom Jesus, Piauí; ⁽⁵⁾ Aluna de Mestrado; Campus Professora Cinobelina Elvas – Universidade Federal do Piauí (CPCE-UFPI); Bom Jesus, Piauí; ⁽⁶⁾ Aluno de Graduação; Campus Professora Cinobelina Elvas – Universidade Federal do Piauí (CPCE-UFPI); Bom Jesus, Piauí.

RESUMO: As funções de pedotransferência (FPT) servem como alternativas para redução de custos e de tempo gasto em estudos que visem o mapeamento e a predição da variabilidade espacial de atributos do solo. Dessa maneira, objetivou-se com este trabalho verificar o potencial da aplicação da CTC em FPT para estimar MO em solos do cerrado na região sudoeste piauiense. A amostragem foi realizada na região sudoeste do Estado do Piauí em Latossolo Amarelo distrófico. Foram analisados os teores de matéria orgânica do solo (MO) e capacidade de troca catiônica (CTC). Foi observado a correlação entre as variáveis por meio da correlação de Pearson. O modelo de regressão linear entre CTC e MO foi obtido com o programa estatístico Minitab 13:1. O ajuste do modelo foi verificado por meio da validação externa. As correlações espaciais foram analisadas por semivariogramas cruzados. Levando em consideração os valores de CV, pode-se dizer que a variabilidade dos coeficientes de variação é considerada baixa para ambos os atributos. A FPT apresentou valor do coeficiente R^2 de 0,95, confirmando que a MO pode ser estimada com mais de 90% de acerto, por meio da CTC. A validação externa mostrou que o modelo utilizado na FPT apresentou precisão ($R^2=0,87$) e acurácia (RMSE=1,75. A demonstração da variabilidade da MO é visualmente distribuída de maneira semelhante nos dois mapas de krigagem. A CTC pode ser usada em funções de pedotransferência para estimar MO em solos da região sudoeste piauiense.

Termos de indexação: Geoestatística, funções de pedotransferência, mapeamento de atributos dos solos.

INTRODUÇÃO

O mapeamento e a predição da variabilidade espacial de atributos do solo viabilizam a racionalização do manejo agrícola e possibilitam o aumento da sustentabilidade da agricultura. Contudo, para que isso seja realizado é necessário

grande número de amostras e, portanto, têm alto custo (Demattê et al., 2007).

As funções de pedotransferência (FPT) surgem como uma alternativa para redução de custos e do tempo gasto nesses estudos. As FPT podem ser definidas como modelos matemáticos utilizados para estimar atributos do solo a partir de outros atributos de observação mais simples (McBratney et al., 2002).

Dentre os atributos de maior interesse está a matéria orgânica do solo (MO), pois se encontra entre as mais promissoras, por demonstrar bastante sensibilidade às perturbações causadas pelos sistemas de manejo (Bayer et al., 2000). Contudo, para análise em laboratório, é necessário uma quantidade considerável de reagentes, inclusive alguns com alto índice de contaminação, como é o caso do dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) (Raij et al., 2001). Diferente da capacidade de troca catiônica (CTC) que é um atributo calculado a partir da soma das bases trocáveis mais a acidez potencial.

Dessa maneira, objetivou-se com este trabalho verificar o potencial da aplicação da CTC em FPT para estimar MO em solos do cerrado na região sudoeste piauiense.

MATERIAL E MÉTODOS

Tratamentos e amostragens

A amostragem foi realizada na região sudoeste do Estado do Piauí, com as seguintes coordenadas geográficas (9° 19'49,5" S, 44° 49' 13,9" O) e altitude média de 600 m, em uma área particular, na Serra do Quilombo, no município de Bom Jesus. O clima da região é classificado como Aw (Köppen), com temperatura variando de 18 a 36 °C, na área predominam Latossolo Amarelo distrófico (Santos et al., 2006). A área amostrada encontrava-se no quinto ano de sistema de plantio direto sob as culturas de soja.

Foram construídos dois conjuntos de dados: O primeiro, com 56 amostras, foi utilizado para a construção da FPT. O outro conjunto foi composto por 40 amostras e foi utilizado para a validação do

modelo. Todas as amostras foram coletadas na profundidade de 0 - 0,20 m, espaçadas em 130 m. Nelas, foram determinados os teores de MO (Raij et al., 2001) e a CTC foi calculada segundo Donagema et al. (2011).

Modelagem e geoestatística

Os dados foram submetidos à análise estatística e usado o teste de correlação de Pearson entre os dois atributos estudados. O modelo de regressão linear entre CTC e MO foi obtido com o programa estatístico Minitab 13:1 (Minitab State College, PA, EUA). Existindo correlação, a CTC foi utilizada em FPT para estimar, por meio do modelo de regressão, a MO utilizando o conjunto de dados 2.

A análise de dependência espacial dos dados foi feita por meio de cálculos geoestatísticos, segundo Vieira et al. (1983), tendo utilizado o programa GS+ (Robertson, 1998) para modelagem dos semivariogramas. Os valores interpolados por meio da krigagem foram utilizados para a construção dos mapas de MO estimado (MOest) e MO observado (MOobs), com o uso do programa Surfer 7.0 (Golden Software, New York, EUA). As correlações espaciais foram analisadas por semivariogramas cruzados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, estão os resultados referentes à análise descritiva para CTC e MO e CTC. A CTC e MO tiveram média de 7,4 e 31,15 g dm⁻³ respectivamente. Os valores de CTC variaram de 6,1 a 8,7 g dm⁻³, enquanto MO teve uma variação de 24,1 a 37,8 g dm⁻³. O CV da CTC foi de 7,7 %, e da MO foi de 8,5 %, mostrando que as duas variáveis possuem níveis de variação bem próximos.

Levando em consideração os valores de CV, pode-se dizer que a variabilidade dos coeficientes de variação é considerada baixa para ambos os atributos, segundo a classificação Warrick & Nielsen (1980) baixa (CV<12%), média 12<CV<62%) e alta (CV>62%).

Observando o valor da correlação de Pearson (Tabela 1), verifica-se que a CTC e MO apresentaram correlação positiva significativa de mais de 90%. Resultados semelhantes foram encontrados por Raij (2011), no qual observou que a contribuição da MO foi importante para a CTC. Isso está relacionado ao fato da MO ser responsável por cerca de 40% da CTC de solos altamente intemperizados, como é o caso dos Latossolos (Verdade, 1956).

Tabela 1 – Análise descritiva das 56 amostras coletadas para geração da função de pedotransferência e resultados da análise de correlação de Pearson.

Análise descritiva	Atributos ¹	
	CTC	MO
	----g dm ⁻³ ----	
Média	7,4	31,1
Mediana	7,4	21,2
Mínimo	6,1	24,1
Máximo	8,7	37,8
Desvio Padrão	0,5	2,6
Coefficiente de Variação (%)	7,7	8,5
Correlação de Pearson	0,975	
P-value	0,000	

¹ CTC, capacidade de troca catiônica do solo; MO, matéria orgânica do solo.

Também é possível observar a magnitude da correlação entre CTC e MO verificando o modelo de regressão linear obtido para construção da FPT. (Figura 1). O valor do coeficiente R² de 0,95 confirma que a MO pode ser estimada com mais de 90% por meio da CTC. Esses resultados corroboram com os obtidos por Silva et al. (2010), que ao analisar a variabilidade espacial de atributos químicos do solo identificou relação entre a CTC e a MO em um Latossolos de cerrados. Isso é possível, segundo Lima et al. (2013), porque nos solos do cerrado, a MO é um componente importante para fornecer pontos de carga negativa em quantidade superior aos disponibilizados pelos principais constituintes dos argilominerais (silicatados e oxídicos), uma vez que nos valores de pH das camadas superficiais tradicionais, predomina-se na MO carga líquida negativa.

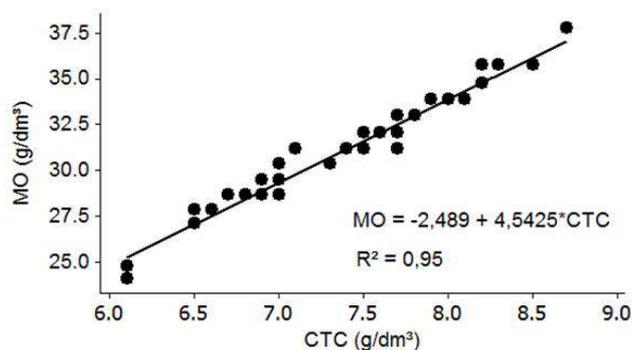


Figura 1 – Modelo de regressão linear entre o teor de matéria orgânica do solo (MO) e a capacidade de troca de catiônica do solo (CTC).

Na figura 2, observa-se o modelo de regressão linear da validação externa entre MOest e MOobs. Verifica-se que o modelo utilizado na FPT apresentou precisão (R²=0,87) e acurácia (RMSE=1,75). Esses atributos já foram utilizados



por outros pesquisadores para verificar viabilidade de modelos de estimativa de atributos do solo (Camargo et al., 2015).

A similaridade entre CTC e MO foi validada pelo semivariograma cruzados, que apresentou correlação espacial definida positiva entre esses atributos (Figura 3). Utilizando a classificação de Cambardella et al. (1994), pode-se afirmar que CTC e MO possuem grau de dependência espacial moderada. Isso ocorre quando os semivariogramas que têm um efeito pepita entre 25 e 75%.

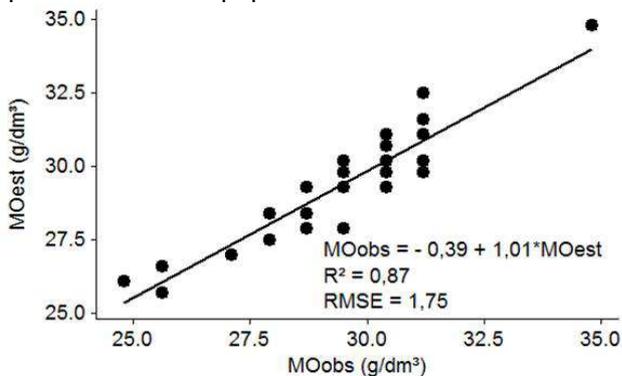
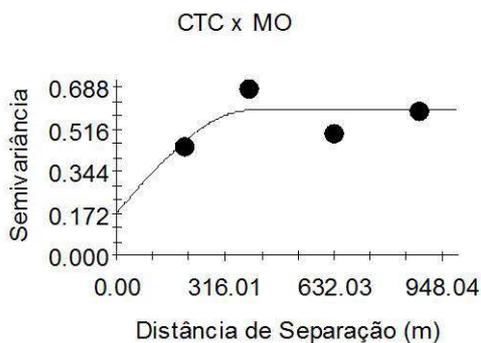


Figura 2 – Modelo de regressão linear da validação externa entre os teores de matéria orgânica estimada (MOest) e observada (MOobs).

O modelo ajustado ao semivariograma cruzado foi o esférico (Figura 3). De acordo com Burgess & Webster (1980), esse modelo é associado à representação da continuidade espacial de atributos com características de transição abrupta, que são mais facilmente identificados no campo. Já o alcance foi de 391 metros, indicando que esta é a distância máxima em que a CTC e MO estão correlacionadas espacialmente.



Esférico ($C_0 = 0,17$; $C_0 + C_1 = 0,59$; $a = 391$;
GDE(%) = 28,9; $R^2 = 0,50$)

Figura 3 – Semivariograma cruzado do teor de matéria orgânica do solo em função da capacidade de troca catiônica do solo.

Finalmente, a importância e da modelagem da FPT, com sua devida calibração, é demonstrada na figura 4. Nela, verificamos o comportamento dos mapas de krigagem construídos a partir do valor da MOobs e MOest. A demonstração da variabilidade da MO é visualmente distribuída de maneira semelhante nos dois mapas. Estudos recentes demonstram que, o uso de FPT são essenciais para o mapeamento e gerenciamento dos recursos do solo, inclusive quando os atributos utilizados para a estimativa forem indicadores espaciais de variabilidade devido suas relações com os processos do solo (Camargo et al., 2015), como é o caso da CTC.

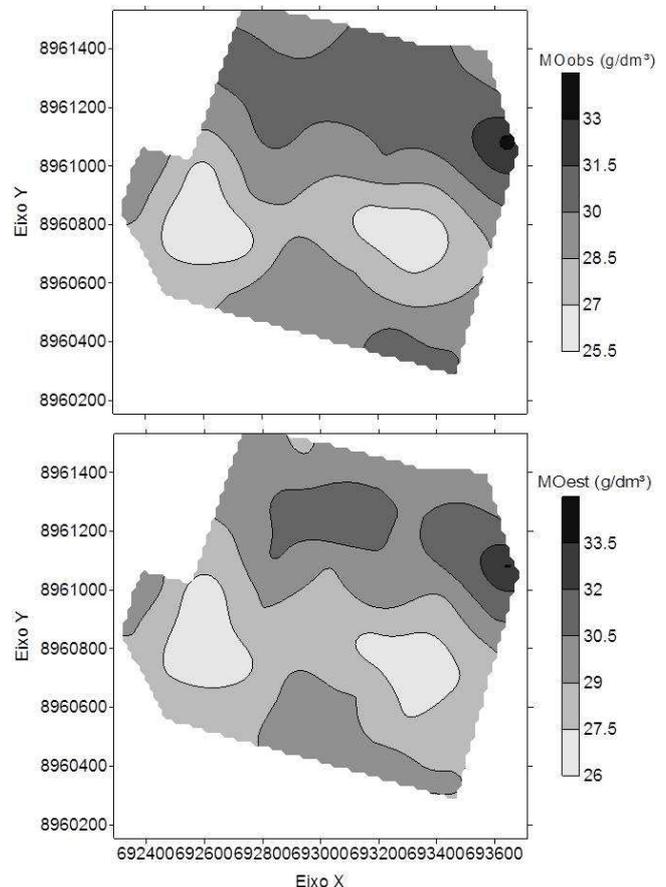


Figura 4 – Mapas de krigagem da matéria orgânica observada (MOobs) e estimada (MOest).

CONCLUSÕES

A CTC pode ser usada em funções de pedotransferência para estimar MO em solos da região sudoeste piauiense.



AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Piauí – Campus Professora Cinobelina Elvas por fornecer a infraestrutura necessária para realização do trabalho.

REFERÊNCIAS

- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C. ; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, 54:101-109, 2000.
- BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semi-variogram and punctual kriging. *European Journal of Soil Science*, 32:315-331, 1980.
- CAMARGO, L. A.; MARQUES JR., J.; BARRÓN, V.; ALLEONI, L. R. F.; BARBOSA, R. S.; PEREIRA, G. T. Mapping of clay, iron oxide and adsorbed phosphate in Oxisols using diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 2015.
- DEMATTE, J. A. M.; GALDOS, M. V.; GUIMARÃES, R.; GENÚ, A. M.; NANNI, M. R.; ZULLO JUNIOR, J. Quantification of tropical soil attributes from ETM+/Landsat-7 data. *International Journal of Remote Sensing*, 28:3813-3829, 2007.
- DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). *Manual de métodos de análise de solos*. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. *Revista Ciência Agronômica*, 44:16-23, 2013.
- MCBRATNEY, A. B.; MINASNY, B.; CATTLE, S. R.; VERVOORT, R. W. From pedotransfer functions to soil inference systems. *Geoderma*, 109:41-73, 2002.
- RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. Piracicaba, International Plant Nutrition Institute. 2011. 420 p.
- RAIJ, van B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- ROBERTSON, G. P. *GS+: geostatistics for the environmental sciences – GS+ user's guide*. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; 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*, 34:15-22, 2010.
- VERDADE, F. C. Influência da matéria orgânica na capacidade de troca de cátions do solo. *Bragantia*, 15:35-42, 1956.

- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, 51:1-75, 1983.
- 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. cap. 2, p. 319-344