

# Uma abordagem geoestatística da capacidade de troca catiônica em solos de seringueira: estudos em duas áreas no Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil.

Davi Butturi-Gomes\*

\* Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agronômica. Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil.

davibg@usp.br

---

## Resumo

O cultivo de seringueira no Brasil possui relevância econômico-social tanto no passado como no presente. Apesar ser uma afirmação recorrente na literatura, estudos envolvendo química do solo, geoestatística e heveicultura não têm sido desenvolvidos ou têm apenas uma pequena representação no cenário da agricultura irrigada. Tendo em vista que a CTC é relevante para o plantio da seringueira, este trabalho teve como objetivo principal entender os padrões espaciais deste atributo em duas fazendas (Sta. Cecília e Cruz Alta) localizadas no município de Cassilândia-MS, por meio de um modelo geoestatístico, utilizando a função de correlação Matérn. A coleta de dados foi realizada em datas aleatórias, em malha regular e em duas profundidades diferentes. Foram ajustados quatro modelos, um para cada profundidade de cada fazenda. Apenas na fazenda Sta. Cecília a profundidade de amostragem se mostrou uma covariável relevante para a predição espacial da CTC do solo. Como esperado, os parâmetros de alcance de todos os modelos foram semelhantes, apesar da maior variabilidade encontrada na Fazenda Cruz Alta, tanto com relação à variabilidade espacial quanto ao efeito-pepita. A confecção dos mapas de probabilidades revelou que a fazenda Cruz Alta apresenta uma proporção de área muito menor com baixas CTC (menor que  $25 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ), o que implica em custos mais baixos para correção do solo.

Palavras-chave: CTC, *Hevea* spp., química de solos, krigagem.

---

## Introdução

Os estudos em química dos solos geralmente têm como objetivo entender como os elementos e seus compostos estão quantitativamente distribuídos nos três estados físicos da matéria. Neste contexto, ao se estudar reações de troca catiônica, buscamos entender e prever como íons carregados positivamente estão distribuídos nas fases sólida e líquida, já que esta distribuição tem um papel crucial na floculação e na

dispersão de solos e sedimentos em suspensão, na disponibilidade e no transporte de nutrientes e contaminantes catiônicos e também na regulação da acidez do solo (MCDONALD et al., 2005).

Na prática, valores baixos de capacidade troca catiônica (CTC) (menos de  $25 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ), quase sempre significam, entre outros fatores, alta percentagem de areias ou baixo teor de matéria orgânica, menor capacidade de retenção de umidade e pH mais variável (LOPES e GUILHERME, 2004; HAZELTON e MURPHY, 2007).

As espécies pertencentes ao gênero *Hevea*, popularmente conhecidas como seringueiras, são nativas da região amazônica e delas é obtida a borracha natural, cujos usos são diversos. Desde a última década, a heveicultura se estende em grande parte do território brasileiro, sendo que a maior parte da produção do Brasil ocorreu nas regiões Sudeste e Centro-Oeste (PINO et al., 2000).

Apesar da importância socioeconômica da heveicultura, os estudos das propriedades e dos padrões dos solos associados ao cultivo de seringueira são escassos e, tendo isto em vista, o objetivo central deste trabalho foi realizar uma análise geoestatística de um importante atributo químico do solo, a CTC, em duas áreas irrigadas de cultivo de seringueira, previamente classificadas como “aptas” por Pilau et al. (2007) para este tipo de cultura.

## **Material e métodos**

### *Áreas de estudo*

Localizadas no município de Cassilândia-MS, as fazendas Santa Cecília (limitada no sentido Sul-Oeste pelo par de coordenadas  $19^\circ 07' 56'' \text{ S}, 51^\circ 49' 01'' \text{ W}$  e no sentido Norte-Leste pelo par  $19^\circ 07' 13'' \text{ S}, 51^\circ 48' 35'' \text{ W}$ ) e Cruz Alta (limitada no sentido Sul-Oeste pelo par de coordenadas  $19^\circ 02' 30'' \text{ S}, 52^\circ 00' 58'' \text{ W}$  e no sentido Norte-Leste pelo par  $19^\circ 02' 17'' \text{ S}, 52^\circ 00' 25'' \text{ W}$ ) são dois importantes pólos de

heveicultura irrigada do Brasil. A região está situada na Bacia do Rio da Prata, sofrendo influência do clima tropical AW da classificação climática de Köppen (PEREIRA et al, 2002 *apud* EMBRAPA, 2003; SILVA et al., 2008). A área está subdividida em Cassilândia (sede) e Indaiá do sul, onde há prevalência de tipos variados de latossolos (REZENDE et al., 2011).

### *Amostragens*

As coletas de dados (amostragens do solo) em ambas as fazendas foram realizadas em data aleatórias, sendo que cada ponto foi formado por 10 subamostras em um raio de 10m. Cada subamostra foi feita em duas profundidades diferentes do solo: prof. 1- de 0 a 20 cm; prof. 2 - de 20 a 40 cm.

### *Análises de laboratório*

Diversos atributos químicos do solo foram determinados a partir das amostras: os níveis de matéria orgânica (MO), o pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez titulável (H+ Al), a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) a porcentagem de argila (V). A CTC, alvo deste estudo, foi determinada pelo método do tampão SMP (CAMARGO et al., 1982).

### *Análise estatística*

Os dados foram analisados sob a abordagem de modelos geoestatísticos (DIGGLE e RIBEIRO JR., 2007) sob o paradigma frequentista da estatística. Buscou-se, desta forma, ajustar os parâmetros do modelo (Equação 1) pelo método da máxima verossimilhança para os dados provenientes de cada uma das fazendas e para as diferentes profundidades, utilizando o pacote geoR, disponível no software R elaborado por R Development Core Team (2011).

$$Y(\mathbf{X}_i) = \beta + S(\mathbf{X}_i) + \varepsilon_i \quad (1)$$

onde,  $Y(\mathbf{X}_i)$  é a CTC na linha  $i$  da matriz de coordenadas  $\mathbf{X}$ ,  $\beta$  é a média geral de uma área específica e numa profundidade específica;  $S(\mathbf{X}_i)$  é um processo gaussiano com função de correlação Matérn com parâmetro de variância  $\sigma^2$ , parâmetro de alcance  $\phi$  e diferenciabilidade  $\kappa=0,3$  conhecido; e  $\varepsilon_i$  é o ruído aleatório normalmente distribuído com média zero e variância  $\tau^2$ . Assumi  $\kappa=0,3$  devido à baixa suavidade do processo espacial, isto é, a CTC tende a variar bruscamente.

## Resultados

As estimativas dos parâmetros podem ser encontradas na Tabela 1. É importante notar que não há diferenciação entre as profundidades das amostras na fazenda Cruz Alta, pois o teste da razão do log-verossimilhança indicou que não havia necessidade de incluir esta covariável, de forma que o mesmo modelo pode ser utilizado para ambas as profundidades de amostragem.

A Figura 1 traz tanto as predições, os valores de CTC esperados (krigagem), na fazenda Cruz Alta quanto os erros-padrão envolvidos na predição.

As Figuras 2 e 3 apresentam respectivamente a krigagem e os erros-padrão para a fazenda Santa Cecília.

Já as Figuras 4 a 6 trazem os mapas de probabilidades de se encontrar valores menores que 25  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  de CTC e maiores que 50  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  de CTC na fazenda Cruz Alta (Figura 4); valores menores que 25  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  e maiores que 35  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  de CTC na fazenda Santa Cecília (Figuras 5 e 6). Não foram produzidos mapas de probabilidades de se encontrar valores maiores que 50  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  de CTC na fazenda Santa Cecília, pois o valor máximo de CTC encontrado, considerando ambas as profundidades de amostragem, foi 43,71  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ . As distribuições dos

máximos de CTC encontrados nas duas áreas estão resumidas na Tabela 2.

*Tabela 1: Estimativas dos parâmetros do semivariograma via estimador de máxima verossimilhança para o modelo Matérn de correlação, assumindo  $\kappa = 0,3$ .*

	$\beta$	$\sigma^2$	$\phi$	$\tau^2$
Cruz Alta	39,57	14,93	490,47	12,77
Sta. Cecília (prof. 0 a 20cm)	30,18	5,86	303,27	2,78
Sta. Cecília (prof. 20 a 40cm)	28,10	6,24	451,91	3,94

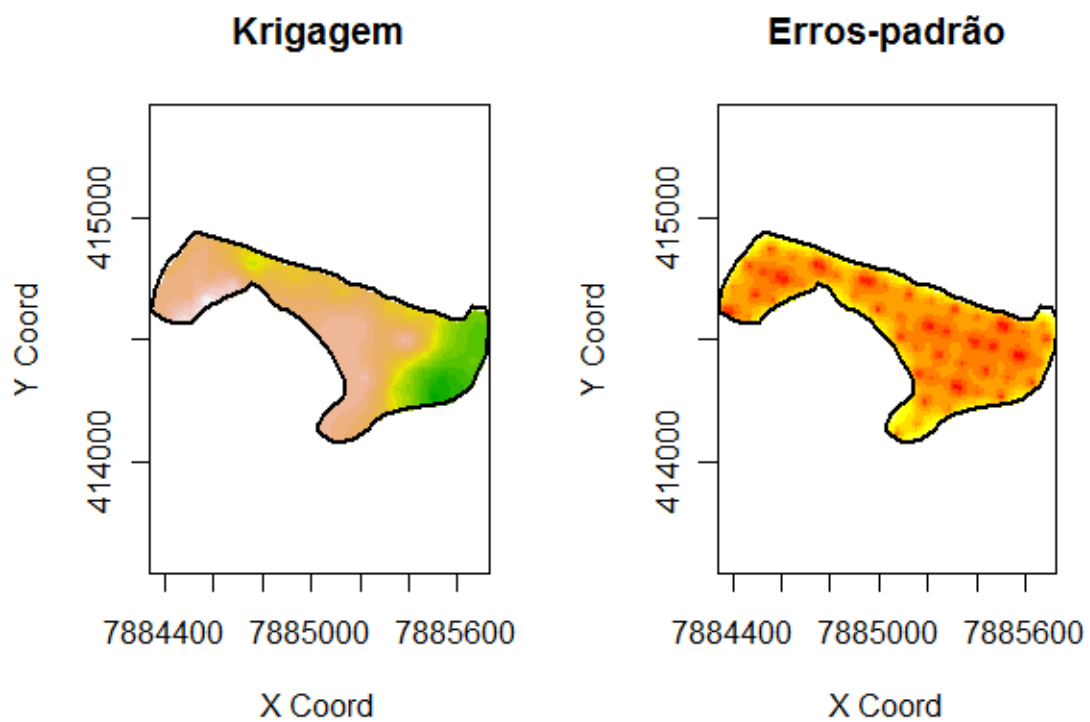


Figura 1: Mapa dos valores esperados (krigagem) e dos erros padrão desses valores para a fazenda Cruz Alta. Note que cores mais quentes representam maiores valores esperados de CT e que cores frias representam menor certeza (maiores erros-padrão).

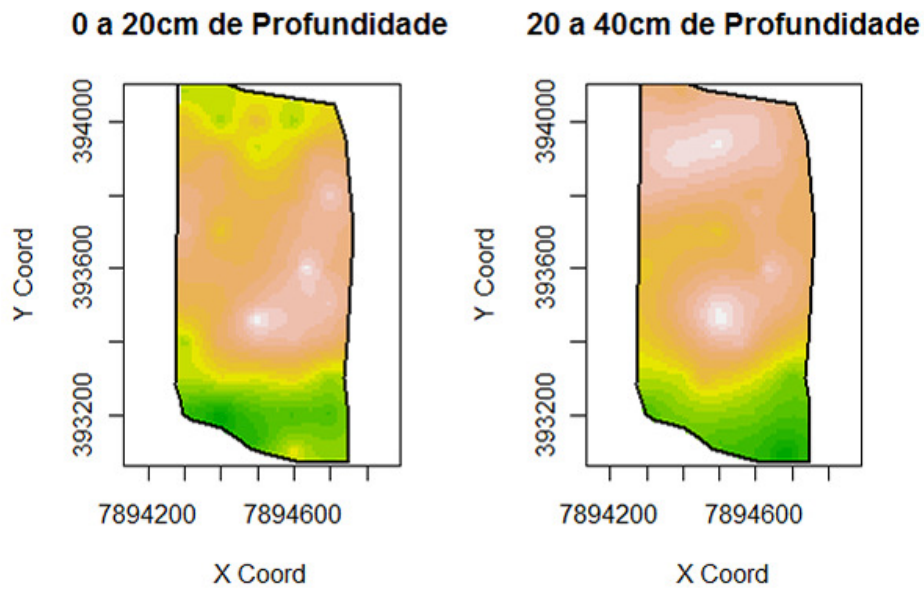


Figura 2: Mapa dos valores esperados (krigagem) para a fazenda Santa Cecília, nas duas profundidades de amostragem. Note que cores mais quentes representam maiores valores esperados de CTC.

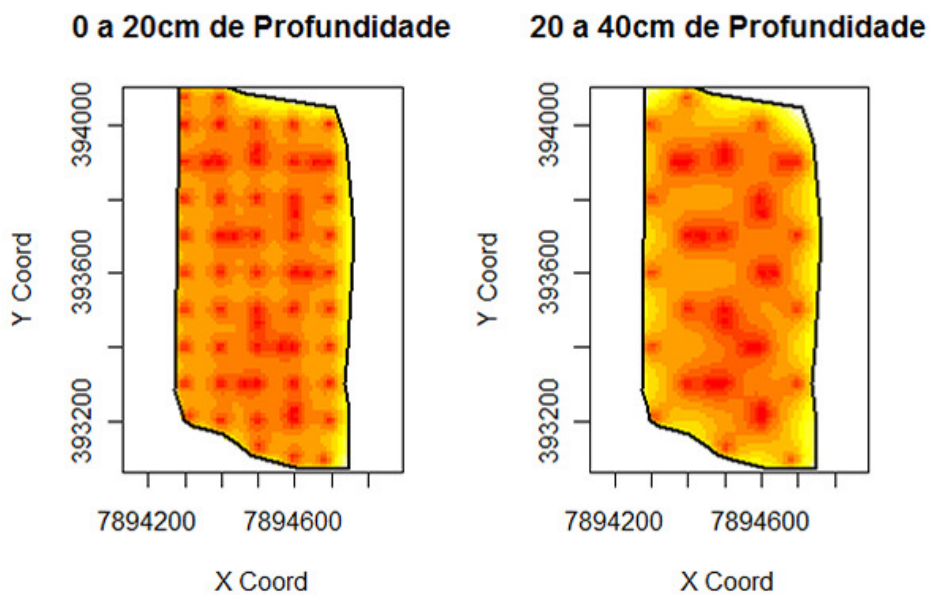


Figura 3: Mapa dos erros-padrão dos valores esperados para a fazenda Santa Cecília, nas duas profundidades de amostragem. Note que cores mais quentes representam erros-padrão menores.

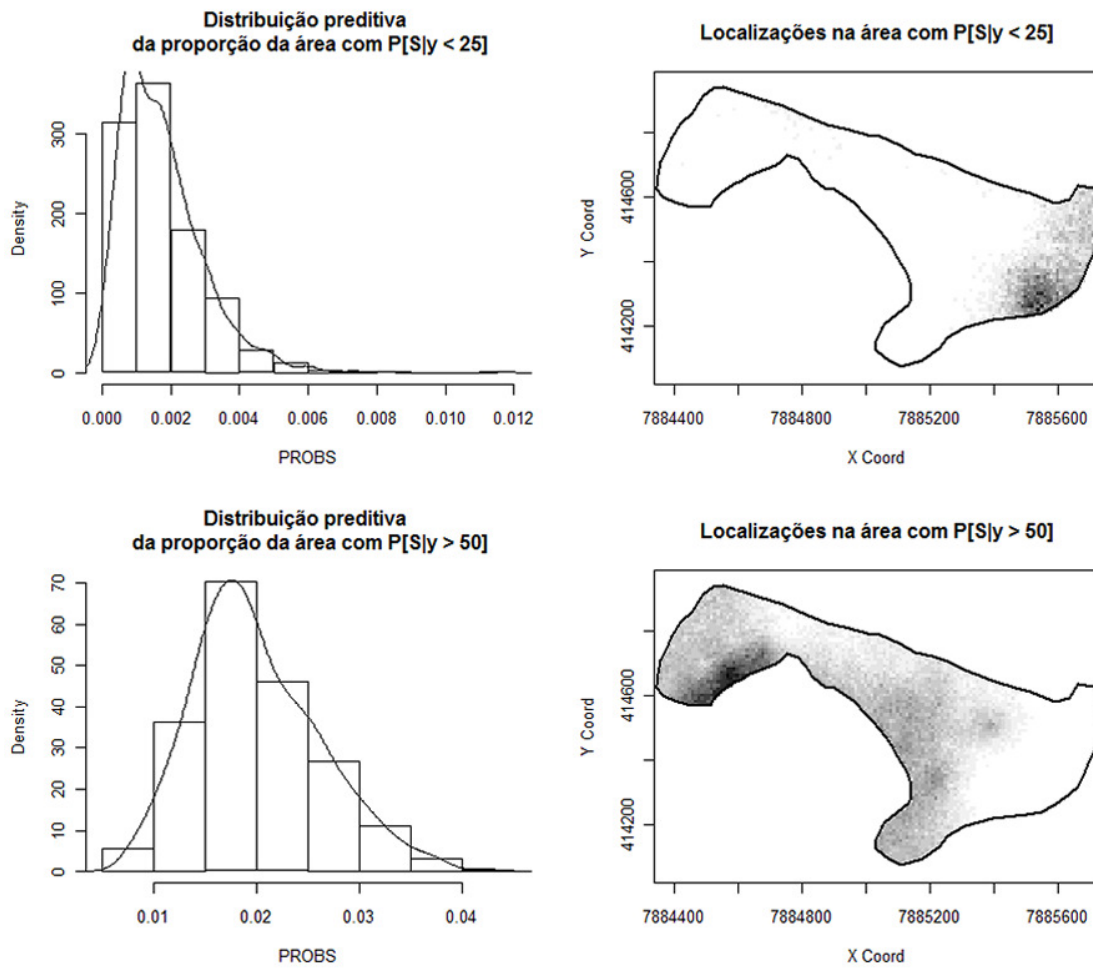


Figura 4: Mapas de probabilidades condicionais para a fazenda Cruz Alta. Note que as maiores probabilidades estão representadas em cores escuras.



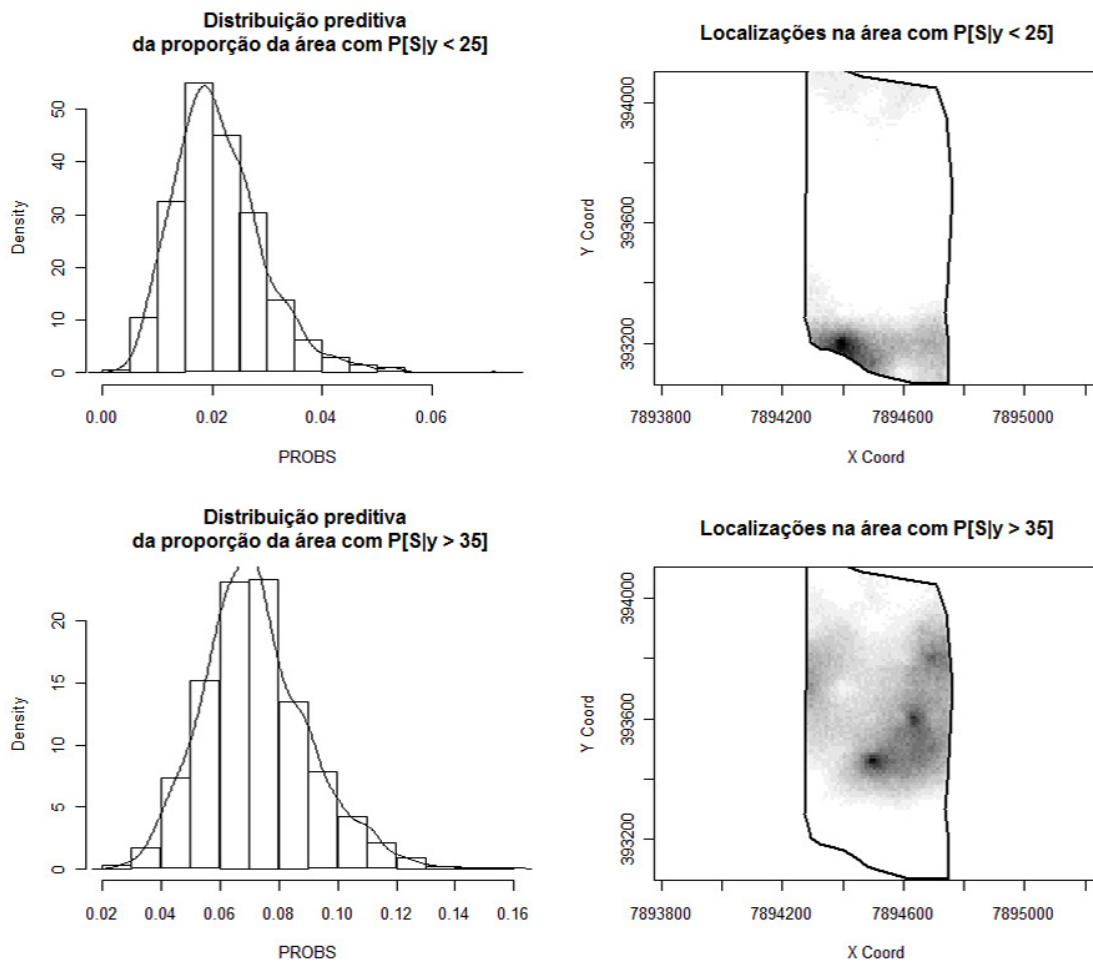


Figura 5: Mapas de probabilidades condicionais para a fazenda Santa Cecília para a profundidade de 0 a 20cm.

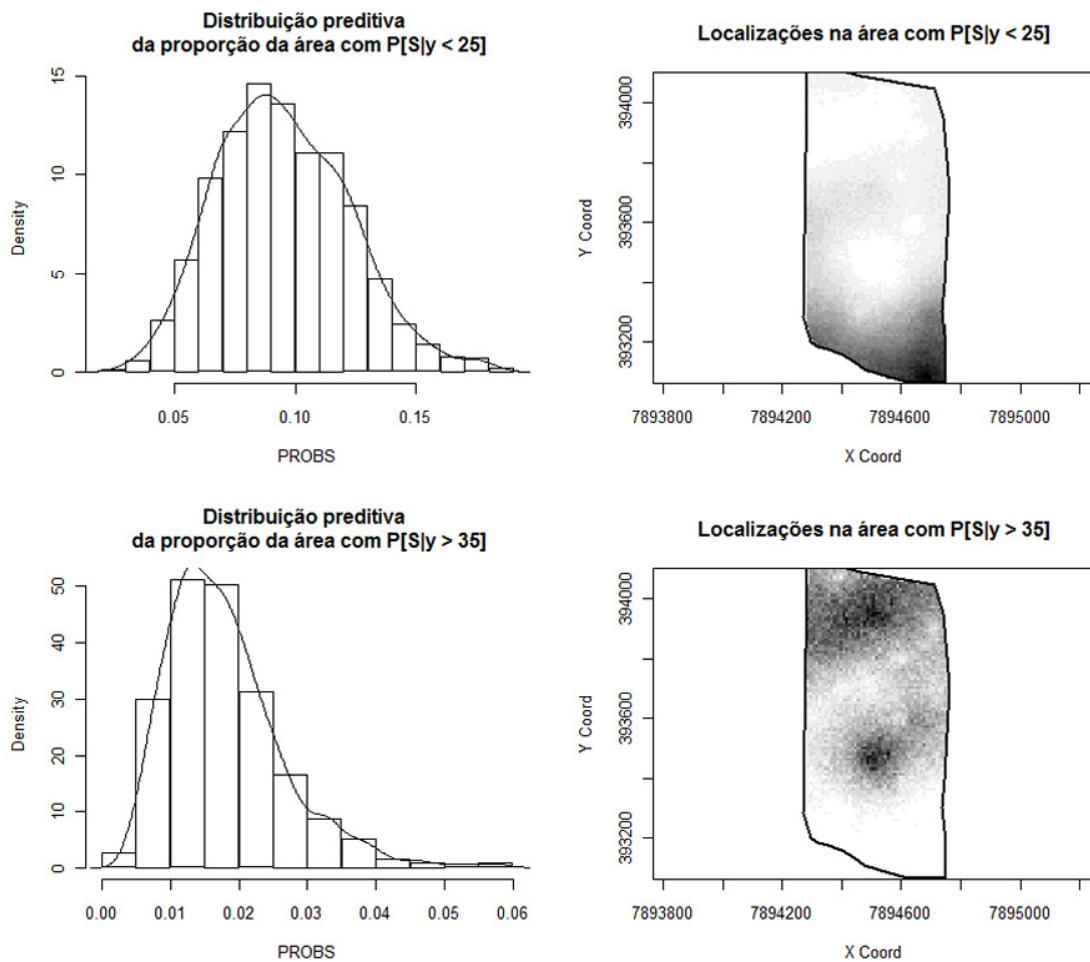


Figura 6: Mapas de probabilidades condicionais para a fazenda Santa Cecília para a profundidade de 20 a 40cm.

*Tabela 2: Quadro resumo com as estatísticas das distribuições dos máximos da CTC (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) nas áreas de estudo.*

	Min.	25%	Média	Mediana	75%	Máx.
Cruz Alta	52,76	55,94	56,92	57,11	58,15	65,66
Sta. Cecília (prof. 0 a 20cm)	38,12	39,69	40,29	40,36	40,88	43,71
Sta. Cecília (prof. 20 a 40cm)	36,59	38,28	38,94	39,02	39,68	42,85

## **Discussão**

Apesar de não estar disponível nenhuma informação à cerca do tipo de solo das fazendas, podemos notar pela estimativa do parâmetro  $\beta$  que a média da CTC na fazenda Cruz Alta foi maior do que na fazenda Santa Cecília.

De maneira geral, por meio da análise visual do mapa de erros, as predições em ambas as fazendas possuem boa precisão, excetuando-se nas bordas das áreas – o que é de certa forma esperado para as amostragens em malha regular.

Do parâmetro de alcance. Deve haver alguma alteração recente no solo da fazenda Santa Cecília, já que o alcance espacial do atributo em questão é mais diferente em pequenas profundidades: enquanto que as estimativas de  $\phi$  nas fazendas Cruz Alta e Sta. Cecília (prof. 20 a 40cm) são mais próximas aproximadamente 491m e 450m respectivamente, a estimativa desse parâmetro é mais destoante na fazenda Sta. Cecília (prof. 0 a 20cm), com aproximadamente 300m de alcance. Se não for possível confirmar esta informação, a hipótese de que existe uma

alteração recente no solo da fazenda Santa Cecília pode ser verificada por meio do ajuste de modelos geoestatísticos para outras variáveis resposta e então verificar se este padrão no parâmetro de alcance persiste.

Podemos notar também que as variabilidades total ( $\sigma^2 + \tau^2$ ) e de efeito-pepita ( $\tau^2$ ) são maiores na fazenda Cruz Alta. De qualquer forma, as variabilidades não comprometem a precisão das estimativas em nenhuma das áreas de estudo.

Corroborando as afirmações de Pilau et al. (2007), podemos classificar as fazendas como aptas para o desenvolvimento de seringueira, levando-se em consideração os níveis de CTC, sendo necessária apenas alguma correção do solo, em regiões bastante particulares.

### **Agradecimentos**

À instituição de apoio à pesquisa CAPES que financiou parte desse estudo. Ao colega Lucas Rios do Amaral e demais pesquisadores do GMAP, que tão gentilmente forneceram os dados que permitiram o desenvolvimento deste trabalho.

### **Referências bibliográficas**

CAMARGO, O.A.; RAIJ, B.V.; VALADARES, J.M.A.S. (1982). **Avaliação da capacidade de troca de cátions em solos utilizando o método do tampão SMP**. *Bragantia*, v. 41, art. nº 12, p. 119-123.

DIGGLE, P.J.; RIBEIRO JR., P.J. (2007). **Model-based Geostatistics**. Springer, New York.

EMBRAPA. (2003). **O clima em regiões tropicais do Brasil**. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 01 de novembro de 2011.

HAZELTON,P.; MURPHY,B. (2007). **Interpreting soil test results: what do all the numbers mean?**. Csiro Publishing, Collingwood.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L.R.G. (2004). **Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações**. Boletim técnico nº 2, ANDA, Lavras.

MCDONALD, L.M.; EVANGELOU, V.P.; CHAPPELL, M.A. (2005). **Cation exchange**. IN: HILLEL, D. (org.). **Encyclopedia of soils in the environment – Vol 1**. Columbia University Press, New York.

PILAU, F.G.; MARIN, F.R.; CAMARGO, M.B.P.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; BARBARISI, B.F. (2007). **Zoneamento agroclimático da heveicultura para as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil**. Rev. Bras. Agrometeorologia, v. 15, n. 2, p. 161-168.

PINO, F.A.; FRANCISCO, V.L.F.S.; MARTIN, N.B.; CORTEZ, J.V. (2000). **Perfil da heveicultura no Estado de São Paulo, 1995-1996**. Informações Econômicas, v. 30, n.8, p.7-21.

R Development Core Team (2011). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

REZENDE,W.E.; KURIHARA, C.H.; KIKUTI, H.; FREITAS, L.A.; TROPALDI, L. (2011). **Acúmulo de massa seca e crescimento de pinhão-manso em Cassilândia, MS, em Latossolo vermelho distrófico típico**. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Resumo expandido.

SILVA, E.A.; MENDONÇA, V.; TOSTA, M.S.; OLIVEIRA, A.C.; REIS, L.L.;  
BARDIVIESSO, D.M. (2008). **Germinação da semente e produção de mudas  
de cultivares de alface em diferentes substratos.** Semina: Ciências  
Agrárias, Londrina, v. 29, n. 2, p. 245-254.