



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

KRIGAGEM INDICATRIZ NA DETERMINAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NO SOLO

Beatriz Barbosa da Silva¹; Anamari Viegas de Araujo Motomiya²; Rogério Hidalgo Barbosa³; Igor Queiroz Moraes Valente⁴; Jeferson Araújo Leal⁵

¹Acadêmica de Agronomia da UFGD, PIVIC/UFGD/FCA C. Postal 533, 79804-970 Dourados-MS, e-mail: biaagronomia29@gmail.com; ²Professora adjunta UFGD, e-mail: anamarimotomiya@ufgd.edu.br; ³Aluno de Doutorado em Agronomia da UFGD, e-mail: hidalgo.rogerio@gmail.com; ⁴Acadêmico de Engenharia Agrícola da UFGD, bolsista PIBIC/UFGD, e-mail: igor_valente88@hotmail.com; ⁵Acadêmico de Agronomia, voluntário PIVIC/UFGD/, e-mail: lealjeferson@hotmail.com.

RESUMO

A krigagem indicatriz é um tipo não-paramétrico de krigagem ordinária condicional, que usa a posição e os valores dos dados para produzir uma distribuição local em vez de uma distribuição global das propriedades analisadas. O trabalho teve como objetivo identificar a distribuição espacial de cálcio e magnésio no solo utilizando-se a técnica de krigagem indicatriz em um Latossolo Vermelho Escuro distroférico. A amostragem foi realizada nos pontos de cruzamento de uma malha regular de 8 linhas e 6 colunas, com um espaçamento de 20 metros entre pontos, totalizando 48 pontos de amostragem. Os dados de Ca e Mg foram analisados por procedimentos de estatística descritiva e então transformados em indicadores de probabilidade de acordo com valores de corte correspondentes aos quartis observados na distribuição de frequência das variáveis. A análise geoestatística foi realizada sobre os dados transformados. O modelo do semivariograma e seus parâmetros foram usados, conjuntamente com técnicas de interpolação de dados, para obter os mapas de probabilidade. Observou-se que os melhores ajustes foram obtidos para o indicador de Ca (0-0,10 m) utilizando como

valor de corte, o primeiro quartil da distribuição de frequência e, também para o indicador de Mg (0-0,10 m) utilizando o 3º Quartil.

PALAVRAS-CHAVE 1) geoestatística; 2) krigagem; 3) mapeamento

INTRODUÇÃO

O modelo de dependência espacial fornece os parâmetros necessários para estimar os valores de atributos do solo em locais não amostrados (GOOVAERTS, 1997). A krigagem ordinária, que é um método de interpolação de dados, usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do espaço analisado, ao qual o modelo do semivariograma foi ajustado, sem tendência e com variância mínima. Esse estimador nada mais é do que uma média ponderada dos valores observados. A krigagem indicatriz é um tipo não-paramétrico de krigagem ordinária condicional, que usa a posição e os valores dos dados para produzir uma distribuição local em vez de uma distribuição global das propriedades analisadas. Ela tem a vantagem de não sofrer efeitos de valores discrepantes (“outliers”) e, segundo Smith et al. (1993), é útil para conjuntos de dados assimétricos.

O método é baseado em uma transformação binária dos dados, sendo cada dado transformado em um indicador antes de ser submetido às análises geoestatísticas e à krigagem. Por convenção, os dados foram codificados em 0 ou 1, se estiverem acima ou abaixo de determinado valor de corte, respectivamente. O valor de corte é arbitrário e depende do objetivo do estudo. O resultado da transformação é um novo conjunto de dados, composto de 0 e 1, o qual é então submetido às análises geoestatísticas, obtendo-se, assim, o semivariograma indicador, que reflete o modelo de continuidade espacial para o valor de corte preestabelecido.

O semivariograma indicador, calculado a partir do conjunto dos dados transformados, pode ser usado para estimar valores, pela krigagem, em outros locais não amostrados, porém dentro da área onde ele foi ajustado, os quais terão valores entre 0 e 1. Estes números correspondem à probabilidade de que os valores estimados estejam acima ou abaixo de

determinado valor de corte, isto é, o valor esperado em um local não amostrado é equivalente à distribuição cumulativa da variável em estudo. Para Verhagen & Bouma (1997), a krigagem indicatriz tem sido usada com sucesso porque permite expressar o modelo espacial em termos de probabilidade de excesso. Em vez de apresentar os resultados de interpolações em termos de classes de valores fixos, pode-se apresentá-los em termos de probabilidade de que determinado valor seja excedido.

Solos de mesma classe, quando submetidos a manejos diferenciados, podem apresentar diferenças significativas em suas propriedades no espaço (CORÁ, 1997; BOUMA et al., 1999). No Brasil, grandes áreas agrícolas sobre Latossolos, considerados homogêneos do ponto de vista pedológico e de manejo, apresentam diferenças na distribuição espacial de seus atributos de acordo com o manejo ao longo de sucessivos cultivos (CORÁ et al., 2004).

A krigagem indicatriz é uma das ferramentas que permite o conhecimento desta distribuição espacial, proporcionando o manejo regionalizado do solo, atendendo às premissas da agricultura de precisão, ou seja, aplicação de insumos a taxas diferenciadas, levando em conta a variabilidade espacial dos atributos do solo (MOTOMIYA et al., 2006). Desta forma, é possível aumentar a produtividade das culturas, otimizar o uso dos insumos agrícolas, reduzir os custos com as aplicações e permitir um melhor controle do impacto da agricultura sobre o meio ambiente.

Este trabalho teve como objetivo identificar a distribuição espacial de cálcio e magnésio no solo utilizando-se a técnica de krigagem indicatriz em um Latossolo Vermelho Escuro distroférico.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental localiza-se na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias - FCA, da Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, em Dourados, localizado nas coordenadas geográficas 22°12'S latitude 54°56'W Grw e a altitude média de 452 m. O clima da região de Dourados é classificado como Cwa (Koppen) – mesotérmico úmido com verão chuvoso. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Escuro Distroférico (EMBRAPA, 2006).

A amostragem foi realizada nos pontos de cruzamento de uma malha regular de 8 linhas e 6 colunas, com um espaçamento de 10 metros entre pontos, totalizando 48 pontos de amostragem (Figura 1). Cada ponto amostral foi constituído de nove sub amostras de solo coletadas com um trado tipo holandês em uma profundidade amostral de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. As sub amostras foram homogeneizadas para formar uma amostra composta. As amostras de solo, após serem secas, peneiradas em malha de 2 mm de abertura, foram submetidas às análises químicas para determinação dos teores de Ca e Mg, segundo métodos descritos por Claessen (1997).

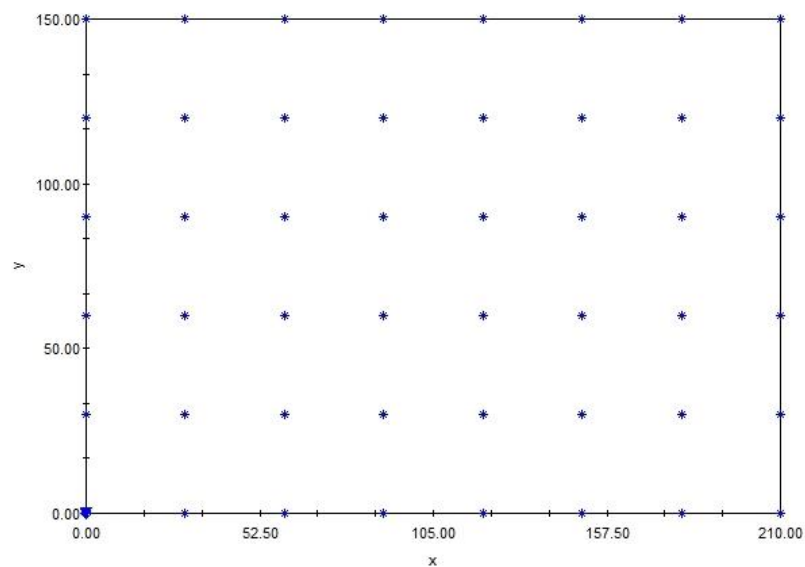


Figura 1. Esquema amostral em grade regular com espaçamento de 20 m entre pontos

Os dados originais foram submetidos à análise estatística para determinação da distribuição de frequência e dos diferentes quartis. Posteriormente, os dados foram transformados em indicadores de probabilidade de acordo com valores de corte correspondentes aos quartis observados na distribuição de frequência das variáveis. Os dados foram codificados em 0 ou 1, se estavam acima ou abaixo do valor de corte determinado.

A análise geoestatística foi realizada, utilizando o programa GS+ (ROBERTSON, 1998). A cada uma das variáveis indicadoras, foi ajustado um modelo de semivariograma. Na seleção dos modelos dos semivariogramas, foram considerados os valores de R^2 (Coeficiente de Determinação) e SQR (Soma de Quadrados do Resíduo), segundo Robertson (1998).

O modelo do semivariograma e seus parâmetros (efeito pepita, alcance e patamar) foram usados, conjuntamente com técnicas de interpolação de dados (krigagem), para obter os mapas de probabilidade dos atributos, em que os valores originais das variáveis foram menores ou maiores que os respectivos valores de corte estabelecidos. Para as variáveis indicadoras que apresentarem semivariogramas que não indicavam a presença de estrutura espacial (efeito pepita), o método de interpolação usado para estimativa dos valores em locais não amostrados foi o inverso da distância ao quadrado.

TABELA 1. Valores de corte correspondente ao 1º, 2º e 3º quartil de cada variável, utilizados nas definições dos valores indicados.

Variável	1º Quartil	2º Quartil (mediana)	3º Quartil
Ca 0- 0,10	5,22	9,74	15,11
Ca 0,10- 0,20	4,82	8,75	14,12
Mg 0- 0,10	2,93	5,27	7,56
Mg 0,10- 0,20	0,14	4,82	7,25

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se observar pela análise estatística descritiva (Tabela 2) que o valor médio de Ca na camada 0-0,10 m de profundidade está elevado. Sousa & Lobato (2004) atribuem valores de Ca acima de 9 cmol/dm^3 como altos. Os valores máximo e mínimo encontrados não foram discrepantes, porém a ocorrência de alguns valores mais altos elevaram um pouco o coeficiente de variação. Para o coeficiente de assimetria (C_s) podemos observar uma distribuição assimétrica à direita, ou seja $C_s > 0$, quando temos $C_s < 0$ indica uma distribuição assimétrica a esquerda, $C_s = 0$ a distribuição é simétrica (GUIMARÃES, 2004). Já para o coeficiente de curtose (C_k) temos uma distribuição platicúrtica, ou seja, $C_k < 0$, quando $C_k = 0$ temos uma distribuição mesocúrtica (distribuição normal), $C_k > 0$ temos uma distribuição leptocúrtica (GUIMARÃES, 2005). Ou seja temos a não normalidade dos dados.

TABELA 2. Análise estatística descritiva dos atributos químicos do solo Ca e Mg na profundidade de 0 – 0, 10 m e 0-0,20m.

Variável	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Coeficientes		
					Varição	Assimetria	Curtose
Ca (0-0,10 m)	9,76	9,74	5,22	15,11	27,72	0,20	-1,06
Ca (0,10-0,20 m)	8,79	8,75	4,82	14,12	25,43	0,20	-0,73
Mg (0-0,10 m)	5,28	5,27	2,93	7,56	17,18	-0,13	0,80

Mg (0,10-0,20 m)	4,64	4,82	0,14	7,25	25,05	-0,99	4,15
-------------------------	------	------	------	------	-------	-------	------

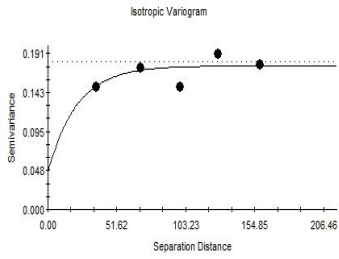
Os teores de Ca (0,10-0,20 m) e Mg (0-0,10 m e 0,10-0,20 m) são considerados adequados seguindo as recomendações de Sousa & Lobato (2004). Para todos esses atributos os valores mínimo e máximo encontrados não foram discrepantes, porém o menor valor de coeficiente de variação foi o obtido para Mg (0-0,10 m) indicando assim uma menor dispersão relativa destes dados.

Os dados analisados foram transformados em dados binários, sendo cada dado transformado em um indicador antes de ser submetido às análises geoestatísticas e à krigagem; os dados foram codificados em 0 ou 1, de acordo com os dados que estavam acima ou abaixo do valor de corte adotado, que neste caso foi 7,4. Foram ajustados semivariogramas a cada um dos conjuntos de dados indicadores transformados. Observou-se que os melhores ajustes foram obtidos para o indicador de Ca (0-0,10 m) utilizando como valor de corte, o primeiro quartil da distribuição de frequência e, também para o indicador de Mg (0-0,10 m) utilizando o 3º Quartil. Considerou-se o melhor ajuste de semivariograma conforme os valores do coeficiente de determinação (R^2) e soma de quadrados de resíduos (SQR), que se encontram mais próximos de um e 0 respectivamente (GUIMARÃES, 2005). Para os dados de Mg (0,10-0,20 m) utilizando o 3º Quartil, observou-se efeito pepita puro, ou seja, os dados não apresentaram dependência espacial.

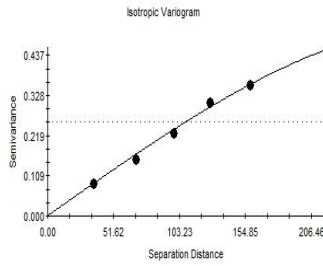
Tabela 3. Parâmetros da análise dos semivariograma das variáveis (Krigagem Indicatriz).

Variável	Modelo	C0	Patamar	A0	C0/C0 + C	R^2	SQR
Ca							
ICa0-10 Q1	Exponencial	0,04	0,17	21,80	0,26	0,339	8,088E-04
ICa0-10 Q2	Esférico	0,001	0,52	319,50	0,001	0,993	4,227E-04
ICa0-10 Q3	Esférico	0,05	0,31	280,30	0,18	0,959	5,688E-04
ICa10-20 Q1	Esférico	0,11	0,22	257,10	0,48	0,882	4,547E-04
ICa10-20 Q2	Esférico	0,06	0,003	370,10	0,14	0,975	5,710 E-04
ICa10-20 Q3	Esférico	0,09	0,30	366,10	0,32	0,950	2,879E-04
Mg							
IMg0-10 Q1	Esférico	0,08	0,29	367,60	0,29	0,898	6,760E-04
IMg0-10 Q2	Esférico	0,01	0,24	50,70	0,06	0,083	6,413E-03
IMg0-10 Q3	Esférico	0,04	0,20	96,00	0,21	0,985	6,591E-05
IMg 10-20 Q1	Exponencial	0,05	0,18	27,00	0,27	0,812	1,966E-04
IMg 10-20 Q2	Esférico	0,03	0,24	53,50	0,13	0,178	3,732E-03
IMg 10-20 Q3							Efeito pepita puro

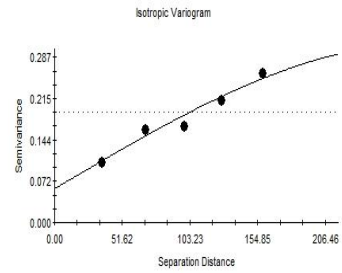
*Q1: 1º quartil; Q2: 2ºquartil; Q3: 3º quartil

A. ICa 0-0,10 Q1

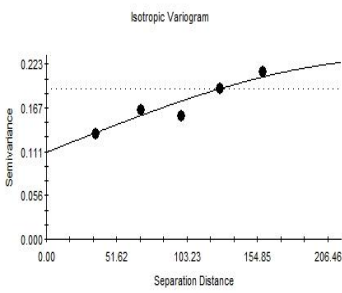
Exponential model ($C_0 = 0.0458$, $C_0 + C = 0.1756$, $A_0 = 21.80$, $r^2 = 0.339$,
RSS = $0.088E-04$)

B. ICa 0-0,10 Q2

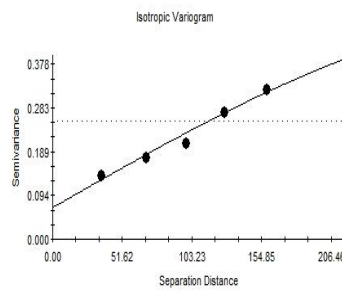
Spherical model ($C_0 = 0.0010$, $C_0 + C = 0.5240$, $A_0 = 319.50$, $r^2 = 0.993$,
RSS = $4.227E-04$)

C. Ca 0-0,10 Q3

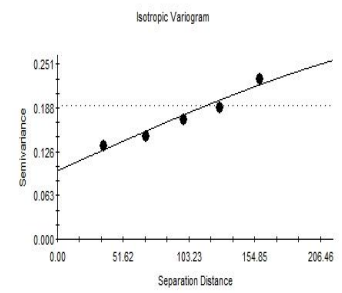
Spherical model ($C_0 = 0.0586$, $C_0 + C = 0.3112$, $A_0 = 280.30$, $r^2 = 0.959$,
RSS = $5.686E-04$)

D. ICa 0,10-0,20 Q1

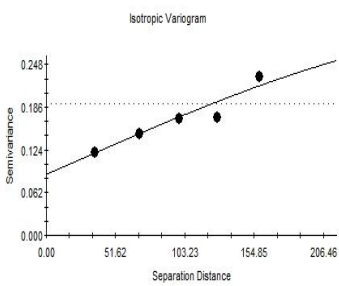
Spherical model ($C_0 = 0.1107$, $C_0 + C = 0.2294$, $A_0 = 257.10$, $r^2 = 0.882$,
RSS = $4.547E-04$)

E. ICa 0,10-0,20 Q2

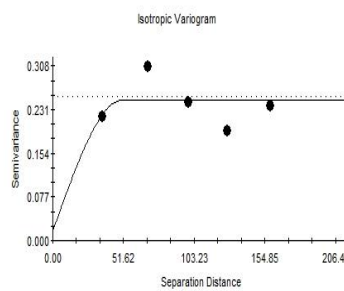
Spherical model ($C_0 = 0.0680$, $C_0 + C = 0.4610$, $A_0 = 370.10$, $r^2 = 0.975$,
RSS = $5.710E-04$)

F. ICa0,10-0,20 Q2

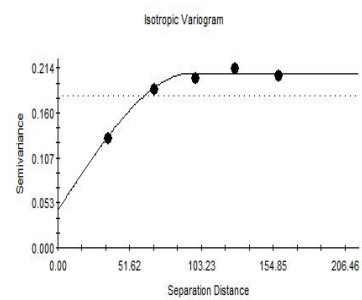
Spherical model ($C_0 = 0.0982$, $C_0 + C = 0.3004$, $A_0 = 368.10$, $r^2 = 0.950$,
RSS = $2.879E-04$)

G. IMg 0-0,10 Q1

Spherical model ($C_0 = 0.0883$, $C_0 + C = 0.2996$, $A_0 = 367.60$, $r^2 = 0.898$,
RSS = $6.760E-04$)

H. IMg 0-0,10 Q2

Spherical model ($C_0 = 0.0168$, $C_0 + C = 0.2476$, $A_0 = 50.70$, $r^2 = 0.083$,
RSS = $6.413E-03$)

I. IMg 0-0,10 Q3

Spherical model ($C_0 = 0.0448$, $C_0 + C = 0.2076$, $A_0 = 96.00$, $r^2 = 0.985$,
RSS = $6.591E-05$)

J. IMg 0,10-0,20**K. IMg 0,10-0,20****L. IMg 0,10-0,20**

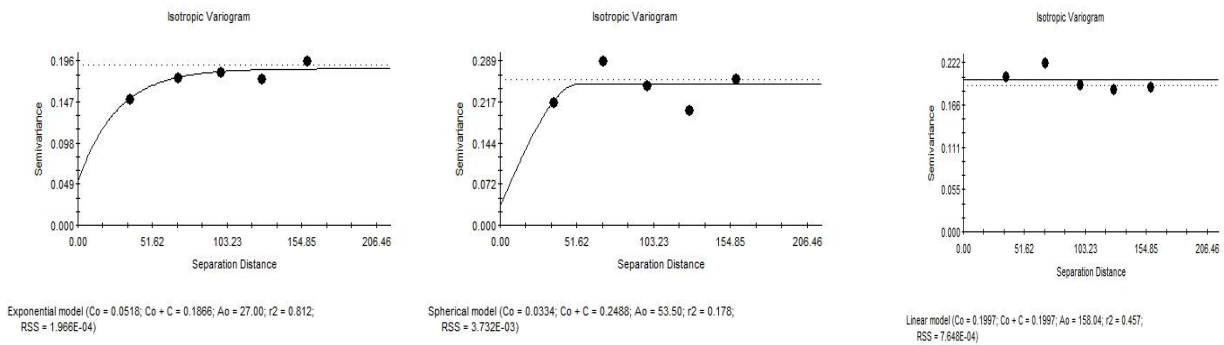
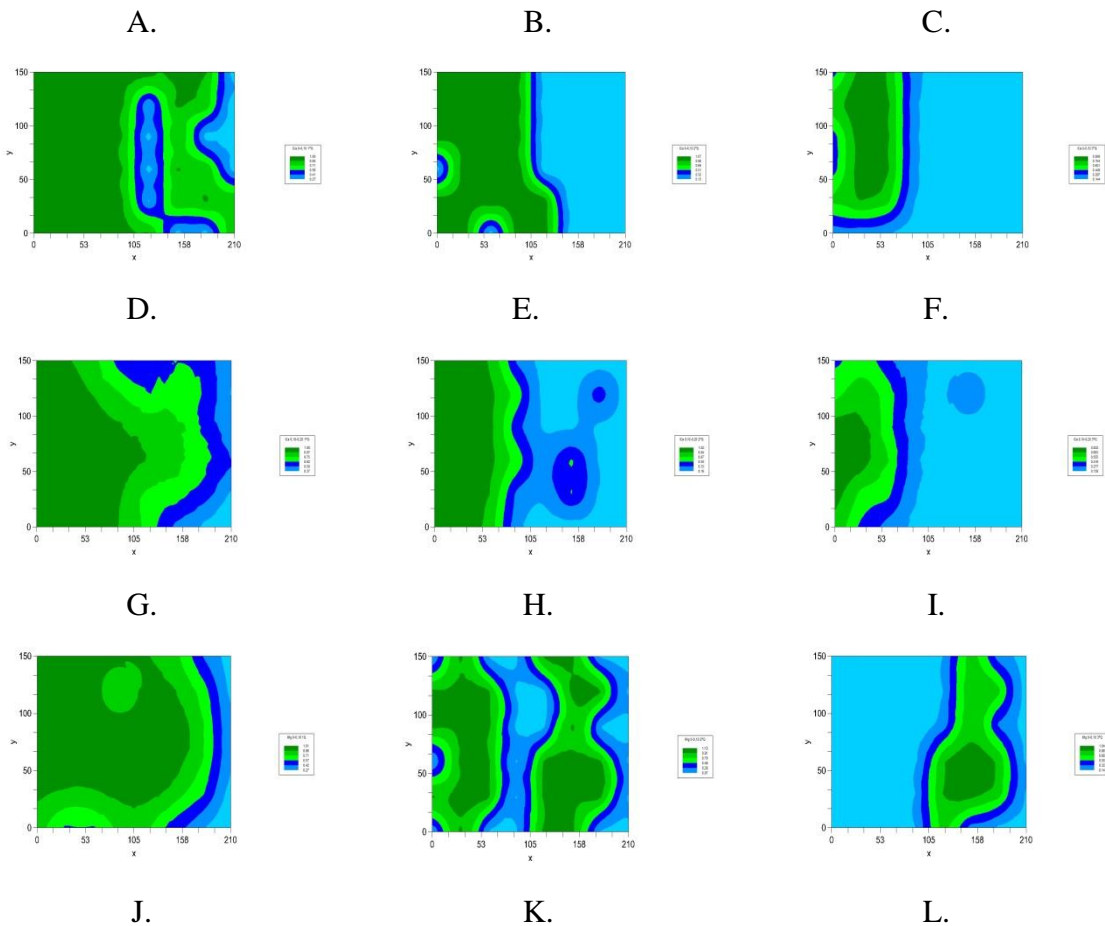


Figura 1, Semivariogramas de Krigagem Indicatriz para níveis de Ca e Mg no solo, **A.** ICa 0-0,10 Q; **B.** ICa 0-0,10 Q2; **C.** ICa 0-0,10 Q3; **D.** ICa 0,10-0,20 Q1; **E.** ICa 0,10-0,20 Q2; **F.** ICa0,10-0,20 Q2; **G.** IMg 0-0,10 Q1; **H.** IMg 0-0,10 Q2; **I.** IMg 0-0,10 Q3; **J.** IMg 0,10-0,20; **K.** IMg 0,10-0,20; **L.** IMg 0,10-0,20m.

Os parâmetros dos semivariogramas foram utilizados para elaboração de mapas de distribuição espacial de cálcio e magnésio utilizando os diferentes valores de corte. Pode-se observar pelos mapas que a área encontra-se com teores de Ca de adequado a alto (Figura 2) Os níveis de Mg se mostram um pouco mais baixos (Figura 2), porém não ainda considerados adequado.



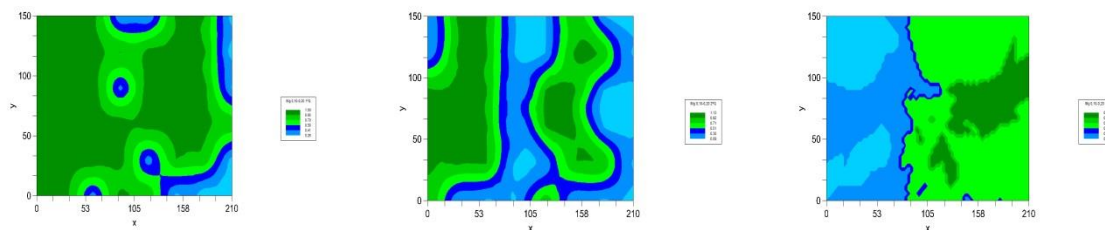


Figura 2. Mapas de Krigagem Indicatriz para níveis de Ca no solo 0-0,10 m : A. 1º Quartil; B. 2º Quartil; C. 3º Quartil.

Para níveis de Ca no solo 0,10-0,20 m: D. 1º Quartil; E. 2º Quartil; F. 3º Quartil.

Para níveis de Mg no solo 0-0,10 m: G. 1º Quartil; H. 2º Quartil; I. 3º Quartil.

Para níveis de Mg no solo 0,10-0,20 m: J. 1º Quartil; K. 2º Quartil; L. 3º Quartil.

CONCLUSÃO

Observou-se que os teores de Cálcio e magnésio no solo estão adequados, não sendo necessária aplicação de calagem. Através da krigagem indicatriz, foi possível modelar a variabilidade espacial destes atributos utilizando diferentes valores de corte.

REFERÊNCIAS

BOUMA, J.; STORVOGEL, J.; van ALPHEN, B.J. & BOOLTINK, H.W.G. Pedology, precision agriculture, and the changing paradigm of agricultural research. **Soil Science Society American Journal**. V.63, n.6, p.1763-1768. 1999.

CLAESSEN, M.E.C.; (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed, rev. Atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212 p.

CORÁ, J. E. **The potential for site-specific management of soil and yield variability induced by tillage**. East Lansing, Michigan State University, 1997. 104p. (Tese de Doutorado).

CORÁ, J.E.; ARAUJO, A.V.; PEREIRA, G.T.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v,28. n,6. P.1013-1021. 2004.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York. Oxford University Press, 1997. 496 p.

GUIMARÃES, E. C. Geoestatística básica e aplicada. Uberlândia: UFU. 75p. 2005, Disponível em: <http://www.ufu.famat.br/ednaldo.htm>, Acesso em 08 ago, 2014.

MOTOMIYA, A.V.A.; CORÁ, J.E.; PEREIRA, G.T. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.30, n.3. p.485-496, 2006.

ROBERTSON, G.P. **GS+**: Geostatistics for the environmental sciences. Versão 5.03 Beta, Plainwell, Gamma Design Software, 152 p. 1998.

SOUSA, D.M.G & LOBATO E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D.M.G & LOBATO E. eds. Cerrado – Correção do Solo e Adubação. 2.Ed, Planaltina – DF. EMBRAPA – CPAC, 2004. p.283-316.

SHAPIRO, S.S. & WILK, M.B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**. V.52, n.3-4, p.591-611, 1965.

SMITH, J.L.; HALVORSON, J.J. & PAPENDICK, R.I. Using multiple-variable indicator kriging for evaluating soil quality. **Soil Science Society American Journal**. v,57. n,3, p.743-749, 1993.

VERHAGEN, J. & BOUMA, J. Modeling soil variability, In: PIERCE, J.F. & SADLER, E.J. eds. **The state of site-specific management for agriculture**. Madison, American Society of Agronomy. p.55-68, 1997.