



Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e sua relação com a produtividade da cultura de soja

Daniel Carvalho Granemann¹ Adão Robson Elias² Lindolfo Storck³

23 dez. 2015

Resumo – De forma a agregar valor à cultura da soja, e conseqüentemente à comercialização, técnicas de agricultura de precisão (AP) como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e posicionamento via satélite aliadas à geoestatística auxiliam no gerenciamento das lavouras. O objetivo deste trabalho é avaliar a correlação entre os atributos químicos do solo e a produtividade da soja, para cada estimativa de parâmetro do semivariograma (alcance, efeito pepita e patamar), visando melhorar o processo de mapeamento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo para a aplicação em AP.

Palavras-chave: geoestatística. produtividade. dependência espacial. soja.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) é um método que pode contribuir para a expansão e administração das áreas de cultivo da soja, gerindo-a metro a metro, considerando que cada parcela do solo pode apresentar produtividade variável. Através de mapas de produtividade, pode auxiliar também na interpretação e análise da variabilidade dos atributos físicos e químicos do solo, pois se conhecendo essa variabilidade é possível aplicar os insumos agrícolas em locais específicos, em áreas menores e mais homogêneas, reduzindo os custos de produção.

Dentre os fatores que interferem na produtividade das diversas culturas, citam-se, por exemplo, o pH, a drenagem e a compactação do solo, baixos valores de

Fósforo (P) e Potássio (K), a infestação de plantas daninhas, além do histórico de manejo ao longo do tempo.

De forma a entender a contribuição de cada um destes fatores é essencial caracterizar a variabilidade do solo e sua relação com a produtividade, e neste sentido, a geoestatística é fundamental, pois permite a interpretação dos resultados com base na estrutura desta variabilidade, ou seja, considera a localização geográfica e a dependência espacial entre os fatores analisados. Uma das formas para verificar se há ou não continuidade espacial é a análise dos parâmetros do semivariograma (alcance, patamar e efeito pepita) que determinam qual é o comportamento regionalizado da variável, ou seja, se há dependência

¹ granemann@utfpr.edu.br, Departamento de Agrimensura/UTFPR, Pato Branco, Brasil.

² robsonelias@utfpr.edu.br, Departamento de Agrimensura/UTFPR, Pato Branco, Brasil.

³ lindolfostorck@gmail.com, Programa de Pós-Graduação em Agronomia/UTFPR, Pato Branco, Brasil.



especial.

Com este conceito, este trabalho tem por objetivo o mapeamento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo (pH, K, P, Ca, etc.), bem como da produtividade da cultura da soja, através da análise geoestatística dos parâmetros do semivariograma (alcance, patamar e efeito pepita), para auxiliar a tomada de decisões em AP.

2. MATERIAIS E MÉTODOS



Figura 1 – Distribuição dos blocos na área experimental.

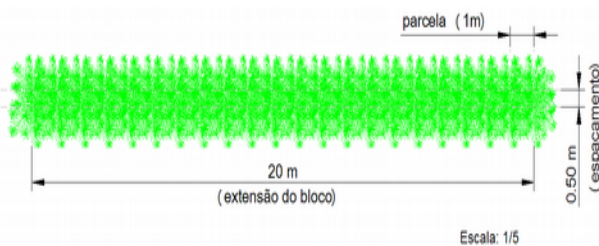


Figura 2 – Ilustração da composição dos blocos de plantas na área experimental de soja.

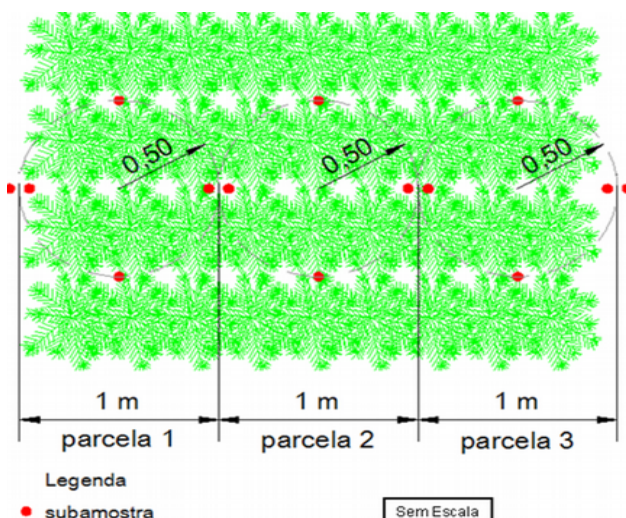


Figura 3 – Esquema ilustrativo das subamostras das parcelas.

O experimento foi realizado em uma área comercial

de 19,7 ha, de latitude 26°11'35" Sul, e longitude 52°43'05" Oeste, em Pato Branco – PR.

Os pontos de amostragem foram georreferenciados com um par de receptores topográficos ProMarkTM3. Para a coleta de dados (análises químicas do solo e produtividade da cultura) foram amostrados 10 blocos na área experimental (Figura 1), cada qual com 20 metros de extensão, divididos em parcelas de um metro, e composto por duas fileiras adjacentes (Figura 2).

Para a amostragem de solo coletaram-se 20 amostras, cada uma destas, composta por 4 subamostras para as profundidades de 0-10 cm e de 10-20 cm (Figura 3).

3. RESULTADOS

As médias e os coeficientes de variação para os atributos químicos do solo e do rendimento de grãos para os blocos 1 (B1) a 10 (B10), são apresentados em tabelas, nas profundidades 0-10 cm (Tabela 1) e 10-20 cm (Tabela 2).

Para todas as análises realizadas através do aplicativo computacional Surfer 8 adotaram-se os modelos exponencial, gaussiano e esférico para o ajuste, bem como foram realizadas as análises anisotrópicas e isotrópicas dos semivariogramas, haja vista que a anisotropia é frequente nos fenômenos e elementos da natureza, ou seja, a distribuição espacial destes ocorre mais intensamente em uma direção e menos na outra (CAMARGO et al., 2001).

Como estes modelos não apresentaram ajustes, optou-se pela adoção de um dos modelos como forma de parametrizar as análises.

Dessa forma, o único modelo que indicou dependência espacial foi o exponencial, e ainda assim somente para o caracter Ca do bloco 1, na profundidade 0-10 cm (Figura 4).

Em função disso, elaborou-se o mapa de isolinhas (Figura 5) para este atributo químico, adotando a krigagem como interpolador.



Tabela 1 – Médias e coeficientes de variação (CV%) dos atributos químicos do solo para os blocos 1 a 10, na profundidade 0-10 cm e do rendimento de grãos.

| Atributo Químico | Unid | B1 | | B2 | | B3 | | B4 | | B5 | |
|------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|------|
| | | M | CV | M | CV | M | CV | M | CV | M | CV |
| MO | g.dm ⁻³ | 0 | 10,3 | 0 | 8,6 | 0 | 26,7 | 55,6 | 12,9 | 66,1 | 8,6 |
| P | mg.dm ⁻³ | 27,3 | 37,6 | 12,7 | 33,4 | 15,8 | 20,3 | 17,7 | 42,5 | 0 | 41 |
| K | cmol _c .dm ⁻³ | 0,5 | 20,6 | 0,3 | 23,2 | 0,2 | 16,7 | 0,2 | 17,5 | 0 | 36,2 |
| Cu | mg.dm ⁻³ | 2,7 | 14,6 | 0 | 23,7 | 0 | 42,4 | 4,2 | 10,9 | 3,6 | 8 |
| Fe | mg.dm ⁻³ | 21,4 | 15,5 | 0 | 23,9 | 0 | 15,5 | 33,1 | 14,4 | 32,5 | 15,5 |
| Zn | mg.dm ⁻³ | 0 | 42,6 | 1,9 | 23,3 | 2,8 | 16,4 | 0 | 28,8 | 2,1 | 24,3 |
| Mn | mg.dm ⁻³ | 93,8 | 13,8 | 96,6 | 15,2 | 0 | 23,1 | 39,3 | 9,9 | 76,7 | 15,3 |
| pH | CaCl ₂ | 0 | 3,7 | 5 | 3,5 | 4,5 | 3,2 | 0 | 2,2 | 0 | 3,2 |
| Al ³⁺ | cmol _c .dm ⁻³ | 0 | 104,6 | 0 | 117,2 | 0 | 76,1 | 0,2 | 32 | 0 | 76,9 |
| H+Al | cmol _c .dm ⁻³ | 6,1 | 13,3 | 4,7 | 16 | 0 | 18,7 | 0 | 7,4 | 0 | 31,9 |
| Ca | cmol _c .dm ⁻³ | 6,6 | 9,1 | 5,7 | 10,9 | 4,2 | 14,9 | 4,2 | 9,7 | 0 | 17,4 |
| Mg | cmol _c .dm ⁻³ | 1,7 | 26,9 | 0 | 22,9 | 1,2 | 24,3 | 1,2 | 26,8 | 1,6 | 19,4 |
| SB | cmol _c .dm ⁻³ | 8,7 | 8,8 | 8 | 9,4 | 5,6 | 14,5 | 5,6 | 9,9 | 7,1 | 13,1 |
| V | % | 58,9 | 7,8 | 62,8 | 8 | 44,4 | 21,9 | 43,9 | 8,9 | 48,5 | 14,6 |
| Sat.Al | % | 0 | 120,4 | 0 | 127,9 | 0 | 86,9 | 3,5 | 40,9 | 0 | 89,8 |
| Rend | g/m ² | 268,8 | 15 | 344,8 | 6,4 | 314,2 | 7,7 | 0 | 11,3 | 363,1 | 8,3 |

| Atributo Químico | Unid | B6 | | B7 | | B8 | | B9 | | B10 | |
|------------------|-------------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | | M | CV | M | CV | M | CV | M | CV | M | CV |
| MO | g.dm ⁻³ | 58,8 | 11,7 | 60,3 | 8,3 | 0 | 11,1 | 59 | 12,3 | 54,6 | 14,2 |
| P | mg.dm ⁻³ | 17,8 | 44,1 | 0 | 69,2 | 20,9 | 45 | 0 | 69,4 | 10,5 | 38,7 |
| K | cmol _c .dm ⁻³ | 0,3 | 24,7 | 0,3 | 43,5 | 0,3 | 24,3 | 0,3 | 21,6 | 0,3 | 15,6 |
| Cu | mg.dm ⁻³ | 2,8 | 36,2 | 2,8 | 24,8 | 2,7 | 13,7 | 2,9 | 10,6 | 3,9 | 15,1 |
| Fe | mg.dm ⁻³ | 30,8 | 21,4 | 0 | 47,5 | 17,8 | 20,8 | 40,8 | 11,6 | 30 | 17,2 |
| Zn | mg.dm ⁻³ | 2,8 | 35,6 | 0 | 119,4 | 0 | 108,5 | 0 | 47 | 2,1 | 39,9 |
| Mn | mg.dm ⁻³ | 83,5 | 11 | 79,2 | 15 | 0 | 30,6 | 71,9 | 6,5 | 86,8 | 15,2 |
| pH | CaCl ₂ | 0 | 1,9 | 0 | 2,5 | 0 | 2,3 | 0 | 2,1 | 4,8 | 1,7 |
| Al ³⁺ | cmol _c .dm ⁻³ | 0 | 70,2 | 0,1 | 50 | 0 | 126,5 | 0 | 245,9 | 0,1 | 37 |
| H+Al | cmol _c .dm ⁻³ | 4,2 | 13 | 6,1 | 10,9 | 5,6 | 8,3 | 0 | 10,7 | 3,9 | 21,4 |
| Ca | cmol _c .dm ⁻³ | 5,1 | 7,1 | 4,9 | 11,1 | 5,7 | 11,8 | 6,5 | 8 | 4,5 | 7,7 |
| Mg | cmol _c .dm ⁻³ | 1,9 | 19,8 | 1,6 | 22,2 | 1,8 | 28 | 2 | 22,4 | 1,6 | 16,4 |
| SB | cmol _c .dm ⁻³ | 7,3 | 5,7 | 6,8 | 8,6 | 7,8 | 11,9 | 8,8 | 5,1 | 6,4 | 6,5 |
| V | % | 63,6 | 5,6 | 52,8 | 7,7 | 58,6 | 5,7 | 65,3 | 4,8 | 62,1 | 8,6 |
| Sat.Al | % | 0 | 71,3 | 2 | 56,3 | 0 | 134,7 | 0 | 245,9 | 1 | 38 |
| Rend | g/m ² | 309,6 | 8,9 | 327,2 | 11,2 | 291,5 | 20,9 | 313,6 | 18,7 | 345 | 8,8 |

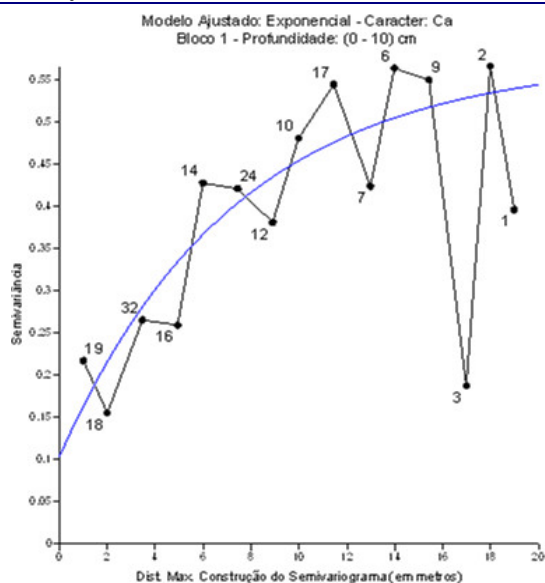


Figura 4 – Modelo exponencial ajustado para o Ca, no bloco 1, profundidade 0 – 10 cm.

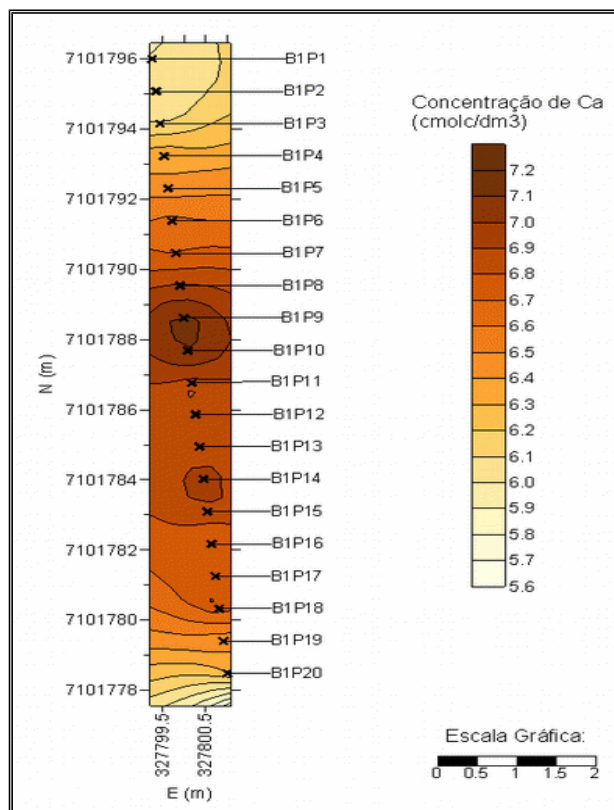


Figura 5 – Mapa de variabilidade do Ca, no bloco 1, profundidade 0 – 10 cm.

Tabela 2 – Médias e coeficientes de variação (CV %) dos atributos químicos do solo para os blocos 1 a 10, na profundidade 10-20 cm e do rendimento de grãos.

| Atributo Químico | Unid | B1 | | B2 | | B3 | | B4 | | B5 | |
|------------------|-------------------------------------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | | M | CV | M | CV | M | CV | M | CV | M | CV |
| MO | g.dm ⁻³ | 66,2 | 6,2 | 55,2 | 11,8 | 58,5 | 8,3 | 55,8 | 17,3 | 68,5 | 10,8 |
| P | mg.dm ⁻³ | 19 | 49,7 | 8,1 | 26,9 | 11,2 | 33,4 | 13,1 | 30,7 | 16 | 48,5 |
| K | cmol _c .dm ⁻³ | 0,4 | 21,6 | 0,3 | 24,4 | 0,2 | 20,2 | 0,2 | 16,9 | 0,23 | 32,3 |
| Cu | mg.dm ⁻³ | 2,9 | 16,2 | 3,2 | 12,3 | 2,2 | 37,2 | 4,2 | 13,3 | 3,6 | 10,6 |
| Fe | mg.dm ⁻³ | 21,4 | 10,1 | 21,6 | 24,8 | 32,9 | 12,1 | 34,6 | 22,6 | 33,3 | 15,1 |
| Zn | mg.dm ⁻³ | 1,7 | 27,7 | 1,57 | 20,7 | 2,3 | 30,4 | 2,4 | 29,5 | 1,8 | 18,7 |
| Mn | mg.dm ⁻³ | 84,5 | 12,9 | 87,46 | 14,9 | 46,8 | 11,9 | 39,6 | 9,4 | 76,3 | 16,8 |
| pH | CaCl ₂ | 4,8 | 3,8 | 5,01 | 3,5 | 4,6 | 3,9 | 4,5 | 1,9 | 4,6 | 2,8 |
| Al ³⁺ | cmol _c .dm ⁻³ | 0,1 | 99,3 | 0,02 | 180,1 | 0,2 | 71,9 | 0,2 | 33,9 | 0,1 | 57,1 |
| H+Al | cmol _c .dm ⁻³ | 6,2 | 17,6 | 4,6 | 17 | 6,2 | 18,1 | 6,9 | 10,5 | 7,4 | 15,4 |
| Ca | cmol _c .dm ⁻³ | 6,2 | 9,9 | 5,6 | 7,7 | 4 | 13,7 | 4,2 | 9,6 | 5,4 | 13,9 |
| Mg | cmol _c .dm ⁻³ | 2 | 30,9 | 2,1 | 22,9 | 1,4 | 29,9 | 1,3 | 24,9 | 1,6 | 20,7 |
| SB | cmol _c .dm ⁻³ | 8,6 | 11,8 | 8 | 9,3 | 5,7 | 15,4 | 5,7 | 11,7 | 7,3 | 11,5 |
| V | % | 58,1 | 10,6 | 60,4 | 22,3 | 47,9 | 16 | 45,2 | 9,7 | 49,6 | 12,2 |
| Sat.Al | % | 0,9 | 116,2 | 0,3 | 182,3 | 3,4 | 82 | 3,4 | 41,5 | 1,9 | 68,8 |



Tabela 2 – Continuação...

| Atributo | Unid | B6 | | B7 | | B8 | | B9 | | B10 | |
|------------------|-------------------------------------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|
| | | M | CV | M | CV | M | CV | M | CV | M | CV |
| MO | g.dm ⁻³ | 55,1 | 14,6 | 53,5 | 22,7 | 49,5 | 15,2 | 53 | 13 | 52,3 | 16 |
| P | mg.dm ⁻³ | 10,6 | 45,7 | 11,7 | 51,9 | 7,4 | 42,5 | 10,1 | 61,8 | 7,6 | 32,8 |
| K | cmol _c .dm ⁻³ | 0,3 | 24,4 | 0,3 | 39,5 | 0,3 | 28,5 | 0,3 | 31,2 | 0,3 | 13,4 |
| Cu | mg.dm ⁻³ | 2,9 | 34,7 | 2,9 | 22,2 | 3 | 12,9 | 3 | 10,6 | 4,1 | 16,2 |
| Fe | mg.dm ⁻³ | 30 | 20 | 23,1 | 28,5 | 19,1 | 13,7 | 38,6 | 10,4 | 30,3 | 22,2 |
| Zn | mg.dm ⁻³ | 2,1 | 35,2 | 6 | 173,7 | 11,7 | 128,8 | 4,8 | 159,8 | 1,8 | 34,9 |
| Mn | mg.dm ⁻³ | 80,7 | 12,4 | 68,7 | 19 | 78,9 | 12,9 | 62,8 | 6,6 | 83 | 15,4 |
| pH | CaCl ₂ | 5,1 | 2 | 4,6 | 2,4 | 4,7 | 3,1 | 5,1 | 2,6 | 4,8 | 2 |
| Al ⁺³ | cmol _c .dm ⁻³ | 0,01 | 248,2 | 0,1 | 50,4 | 0,1 | 79,1 | 0 | 309,9 | 0,1 | 34,8 |
| H+Al | cmol _c .dm ⁻³ | 3,9 | 15,5 | 5,9 | 10,1 | 5,8 | 13,2 | 4,6 | 9,8 | 4,2 | 12,5 |
| Ca | cmol _c .dm ⁻³ | 4,8 | 9 | 4,6 | 10,5 | 4,8 | 8,7 | 5,8 | 8,4 | 4,3 | 9,1 |
| Mg | cmol _c .dm ⁻³ | 2 | 20,1 | 1,4 | 19,5 | 1,6 | 30 | 2 | 13,8 | 1,7 | 26 |
| SB | cmol _c .dm ⁻³ | 7,2 | 4,4 | 6,2 | 11,1 | 6,6 | 12,4 | 8,1 | 6,2 | 6,3 | 6 |
| V | % | 64,9 | 5,9 | 51,9 | 8,5 | 53,3 | 10,6 | 63,8 | 4,9 | 59,9 | 6,8 |
| Sat.Al | % | 0,1 | 247,9 | 2,2 | 55,1 | 1,4 | 79,6 | 0,1 | 308,7 | 1 | 33,5 |

4. DISCUSSÃO

Analisando os dados da Tabela 1, percebe-se que o bloco B1 apresenta os maiores valores de MO, P, K e Ca, no entanto o menor rendimento. Este bloco também apresentou o maior valor médio de Ca, porém foi o menos produtivo. Alguns atributos químicos apresentam maior CV, como nos casos do Al⁺³ e Sat. Al nos blocos B9, B8, B2 e B1. Valores elevados para o CV são importantes, pois a sua heterogeneidade auxilia no estudo da variabilidade dos atributos químicos do solo.

Conforme os critérios para a classificação do CV (PIMENTEL-GOMES, 1985), em 24,7% dos casos os CV podem ser considerados muito altos ($CV \geq 30\%$), 15,9% altos ($20\% \leq CV < 30\%$), 28,2% médios ($10\% \leq CV < 20\%$) e 31,2% baixos ($CV < 10\%$). Baixos CV indicam a homogeneidade dos caracteres no solo, como no caso do pH nos blocos B1 a B10. No entanto, não se pode afirmar que este atributo interfere direta ou indiretamente na produtividade. Lembrando que, a presença de variabilidade (CV médio ou alto) dos valores de um atributo não é

garantia de dependência espacial, necessária para aplicação da agricultura de precisão. A baixa variabilidade dos dados (CV muito baixo), praticamente descarta a existência de dependência espacial, necessária para a elaboração dos mapas de variabilidade dos atributos avaliados.

O alcance para o Ca, neste bloco e profundidade, foi de 7,63 m, sendo as variâncias do efeito pepita (C0) igual a 0,10, e do patamar de 0,47. As amostras foram agrupadas em 15 classes (lags) com amplitude de 1,33 m, onde todos os pares de amostras de Ca foram examinados. É importante ressaltar que o alcance, além de contribuir para o dimensionamento do gride de amostragem, é o parâmetro do semivariograma que indica a distância para a qual o caractere apresenta continuidade espacial (BERNARDI et al., 2002).

Analisando o mapa de variabilidade espacial do Ca no bloco B1, é possível perceber que a maior concentração deste atributo encontra-se entre os pontos P7 e P17. No entanto, mesmo que este bloco tenha apresentado a maior concentração de Ca, também apresentou a menor massa média de grãos (268,8 g). A região onde se situa o bloco B1 é área de manobras dos maquinários agrícolas, e a compactação do solo pode ter interferido na absorção de nutrientes do solo pelas plantas neste local.

5. CONCLUSÃO

As análises anisotrópicas e isotrópicas apresentaram o mesmo semivariograma, indicando que independente da análise realizada, os dados apresentam distribuição somente no sentido longitudinal do bloco.

Com exceção do Ca, os demais atributos químicos não se ajustaram a nenhum dos modelos, pois não apresentaram variabilidade espacial.

A distribuição dos blocos na área não foi capaz de identificar a dependência espacial dos demais atributos químicos do solo.



Spatial variability of chemical attributes of soil and its relationship with the productivity of soybean culture

Abstract – In order to add value to the soybean crop, and hence the marketing, precision agriculture techniques (PA) such as Geographic Information Systems (GIS) and satellite positioning combined with geostatistical assist in the management of crops. The objective of this study was to evaluate the correlation between the chemical soil properties and soybean yield for each semivariogram parameter estimation (range, nugget and level effect), to improve the process of mapping the spatial variability of soil chemical properties for the PA application.

Keywords: statistics. productivity. spatial dependence. soybeans.

REFERÊNCIAS

BERNARDI, A.C.C.; CARMO, C.A.F.S.; MACHADO, P.L.O.; SILVA, C.A.; VALENCIA, L.I.O. & MEIRELLES, M.S. **Variabilidade espacial de teores de nutrientes em folhas de soja como ferramenta para agricultura de precisão**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2002. 5 p. (Comunicado Técnico 17). Disponível em:

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/338303>>.

Acesso em: 10 out. 2014.

CAMARGO, E. C. G.; FELGUEIRAS, C. A.; MONTEIRO, A. M. V. A Importância da Modelagem da Anisotropia na Distribuição Espacial de Variáveis Ambientais utilizando Procedimentos Geoestatísticos. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Instituto de Pesquisas Espaciais, 10. **Anais...** p. 395–402. Sessão Técnica Oral. Foz do Iguaçu, 2001. Disponível em: <<http://martes.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.14.15.14/doc/0395.402.280.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2015.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. ESALQ/USP. Piracicaba. 1985.

Correspondência:

granemann@utfpr.edu.br, Departamento de Agrimensura/UTFPR, Pato Branco, Brasil.

Recebido: 05/11/2015

Aprovado: 23-12-2015

Como citar: GRANEMANN, Daniel Carvalho; ELIAS, Adão Robson; STORCK, Lindolfo. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e sua relação com a produtividade da cultura de soja. (NBR 6023)

Syn. Scy. UTFPR, Pato Branco, v. 10, n. 2, p. 1–5, abr./jun. 2015. ISSN 2316-4689

(Eletrônico). Artigos convidados da IV Semana de Agrimensura & I Workshop sobre Cadastro Territorial Multifinalitário, Pato Branco-PR. Disponível em:

<<https://periodicos.utfpr.edu.br/synscy>>. Acesso em: DD mmm. AAAA.

DOI: “em processo de registro”

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.