



VARIABILIDADE ESPACIAL DO SOLO SOB PASTAGEM COMO SUPORTE AO ESTUDO DE GEORRASTREABILIDADE BOVINA

Juliana **Albuquerque**¹; Célia Regina **Grego**²; Ricardo Guimarães **Andrade**³; Daniel **Gomes**⁴;
Sandra Furlan **Nogueira**⁵

Nº 15510

RESUMO – *Informações espacialmente explícitas das características do solo e da pastagem podem dar suporte ao estudo da georastreabilidade bovina. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial de alguns atributos da fertilidade do solo e da produção vegetal em uma área de pastagem na Fazenda da Embrapa Gado de Corte em Campo Grande, MS, com a finalidade de compreender a dinâmica espacial de pastejo dos bovinos nessa área. Foram analisados o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), o material vegetal seco (MS) da pastagem e os seguintes atributos químicos do solo de 0 cm – 20 cm de profundidade: matéria orgânica do solo (MOS), fósforo (P), potássio (K), soma de bases (SB). Os dados foram analisados usando estatística descritiva e geoestatística. As semivariâncias foram calculadas e os semivariogramas foram ajustados pelos modelos esférico e gaussiano. Para as variáveis dependentes espacialmente, os valores foram interpolados pelo método de krigagem ordinária, e mapas de isolinhas foram elaborados. Os resultados mostraram que a produção de MS da pastagem apresentou alto coeficiente de variação. Houve dependência espacial para todos os atributos de solo e planta analisados. Na região do mapa onde existem pontos coincidentes com valores de NDVI, MS da pastagem, MOS, K e SB, há semelhança quanto à variabilidade espacial. Essa semelhança na variabilidade espacial possivelmente indica a influência do solo na produção vegetal da pastagem utilizada no estudo de rastreabilidade bovina.*

Palavras-chave: Dependência espacial, Fertilidade do solo, Geoestatística, Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), Krigagem.

1 Autora, Estagiária Embrapa: Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, PUCC, Campinas-SP; juliana.albuquerque@colaborador.embrapa.br.

2 Orientadora: Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP; celia.grego@embrapa.br.

3 Colaborador: Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

4 Colaborador: Analista da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

5 Colaboradora: Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.



ABSTRACT – *Spatially explicit information on soil and pasture characteristics may aid in bovine geotracing studies. This study evaluated the spatial variability of some of soil fertility and plant production attributes in a pasture area at Embrapa Beef Cattle’s farm in Campo Grande, MS, with the aim of understanding the spatial dynamics of cattle grazing in this area. We analyzed Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), dry matter (MS) and the following attributes of the soil at a 0–20-cm depth: soil organic matter (MOS), phosphorus (P), potassium (K), and sum of bases (SB). The data were analyzed using descriptive statistics and geostatistics. The semivariograms were calculated and the semivariograms were adjusted using the spherical and gaussian models. For spatially dependent variables, the values were interpolated using ordinary kriging, and isoline maps were made. The results show high coefficient of variation for MS production. All soil and plant attributes analyzed showed spatial dependence. At the map’s region where points coincide with NDVI, MS, MOS, K and SB values, there is similarity in terms of spatial variability. This similarity possibly indicates an influence of the soil on the plant production at the analyzed pasture.*

Key-words: NDVI, soil fertility, geostatistics, spatial dependence, kriging.

1 INTRODUÇÃO

A bovinocultura é umas das mais importantes atividades econômicas da agropecuária brasileira. A área destinada à atividade ocupa cerca de 20% do território nacional, e mais de 89% da criação de bovinos é feita em pastagem. Hoje é de extrema importância a rastreabilidade das informações sobre os bovinos usados na produção da carne bovina brasileira, para garantir ao consumidor a qualidade, segurança e confiabilidade no produto (ANDRADE et al., 2015).

As informações obtidas de dados geoespaciais sobre as características do solo e da vegetação dão suporte ao estudo da rastreabilidade bovina, garantem a compreensão de sua dinâmica espacial e são fundamentais para controlar as condições de pastagem e demais características ambientais relevantes para o sistema de geodécisão (EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE, 2015).

Informações espacialmente explícitas sobre as práticas de manejo da pastagem de produção bovina podem ser obtidas considerando a variabilidade espacial do solo. Segundo Vieira (2000), a geoestatística é a maneira mais eficaz para analisar a variabilidade espacial, pois permite correlacionar amostras de solos de um determinado ponto com seus vizinhos e analisar dados com dependência espacial. A variabilidade espacial é identificada pelo semivariograma, que é ajustado a uma função matemática. A partir da identificação da variabilidade espacial, o método de

interpolação conhecido como krigagem estima valores em pontos não amostrados, sem tendência e com variância mínima, e permite a geração de mapas com maior precisão. Por isso a geoestatística é uma ferramenta de grande importância para a análise espacial de dados do solo e da planta (VIEIRA et al., 2008). Como exemplo do uso da geoestatística para a identificação da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo e para a biomassa de pastagem, Grego et al. (2012) identificaram as variações das áreas degradadas da pastagem em uma área experimental do Instituto de Zootecnia em Nova Odessa, SP.

Este trabalho objetivou avaliar a variabilidade espacial de alguns atributos da fertilidade do solo e da produção vegetal da pastagem com a finalidade de compreender a dinâmica espacial da área utilizada em estudo de rastreabilidade bovina.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Dois conjuntos de dados foram obtidos na Fazenda da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, em maio de 2013. A cobertura da área avaliada era composta por *Brachiaria* usada para pastejo (Figura 1). Os dados foram organizados em um sistema de informações geográficas (SIG) e, em seguida, extraídos na forma de tabela com coordenadas projetadas no sistema de projeção UTM, fuso 21 Sul e datum WGS84.

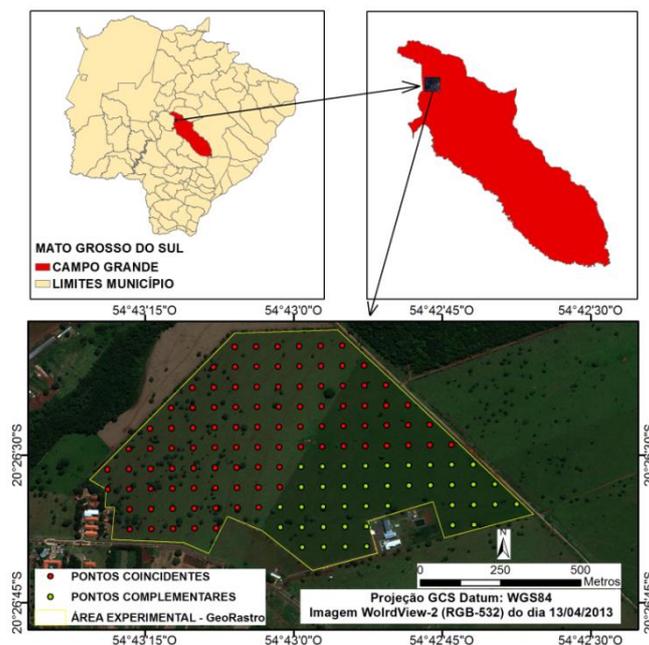


Figura 1. Localização da área amostral e dos pontos de coleta. Nos pontos vermelhos, foram feitas medições de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), coletas de solo e material vegetal. Nos pontos verdes, foram coletados apenas solo e material vegetal.



**9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015
10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo**

O primeiro conjunto é de dados do NDVI obtidos do sensor Crop Circle ACS-430 em 96 pontos dispostos em malha regular de aproximadamente 60 m x 60 m. O segundo conjunto é de dados de fertilidade do solo de 136 pontos também dispostos em uma malha regular de aproximadamente 60 m x 60 m. Todos os pontos do primeiro conjunto coincidem com pontos do segundo conjunto.

Para a análise de fertilidade, foram coletadas amostras de solo deformadas na profundidade de 0 cm – 20 cm. Os atributos do solo considerados neste trabalho foram matéria orgânica do solo (MOS), fósforo (P), potássio (K) e soma de bases (SB), por serem os principais fatores que influenciam diretamente o desenvolvimento da pastagem, segundo Uhde et al. (2012), Albernaz (2005) e Santos et al. (2010). Os valores de produção de material vegetal seco (MS) da pastagem foram obtidos pelo método do quadrado, segundo Chaila (1986), em cada um dos 136 pontos de amostragem e expressos em kg ha^{-1} .

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva para exploração inicial, verificação da normalidade da distribuição de frequência e para testar a significância da normalidade (teste de Kolmogorov-Smirnov). A análise geoestatística segundo Vieira (2000) foi utilizada para verificar a dependência espacial, interpolar dados e elaborar os mapas. Foi construído um semivariograma partindo das pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca e do cálculo da semivariância $\gamma(h)$ estimada pela Equação 1.

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

Em que $N(h)$ é o número de pares dos valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, separados por um vetor h . É esperado, segundo Vieira (2000), que medições localizadas próximas sejam mais parecidas entre si que aquelas separadas por grandes distâncias, isto é, que aumente $\gamma(h)$ com a distância h até um valor máximo, no qual se estabiliza em um patamar correspondente à distância limite de dependência espacial, que é o alcance. O semivariograma foi ajustado com o modelo matemático de melhor correspondência para obtenção dos parâmetros efeito pepita, variância estrutural e alcance. Os critérios de ajuste dos semivariogramas foram validados pelo coeficiente de determinação (r^2) e pela raiz quadrada do erro médio (RMSE). Os programas computacionais foram baseados no Geost (VIEIRA et al., 2002). O grau de dependência espacial (GD) foi calculado segundo a Equação 2, e a sua dependência foi classificada segundo Zimback (2001) como fraca ($\text{GD} \leq 25\%$), moderada ($25\% < \text{GD} \leq 75\%$) e forte ($\text{GD} > 75\%$).

$$\text{GD} = \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \cdot 100 \quad (2)$$



Em que C_0 é o chamado efeito pepita, ou seja, a semivariância na distância zero, e C_1 é a variância estrutural. Havendo dependência espacial demonstrada pelo semivariograma, é possível estimar valores para qualquer outro local que não foi amostrado usando a krigagem ordinária, que, segundo Vieira et al. (2002), estima os valores com condições de não tendenciosidade e com variância mínima. Com os valores estimados, foram construídos mapas de isolinhas em função da coordenada geográfica no programa ArcGis 10.3.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva (Tabela 1). Entre as variáveis, a produção de MS obteve maior coeficiente de variação, considerado alto pela grande diferença entre os valores mínimo (165 kg ha^{-1}) e máximo (5.636 kg ha^{-1}), com média de 1.772 kg ha^{-1} . Paciullo et al. (2007) relataram valor médio inferior (1.501 kg ha^{-1}) para *Brachiaria* sob condições semelhantes de pastagem a sol pleno. Das variáveis do solo, o P exerce grande influência no perfilhamento da forragem e, de acordo com Raij et al. (1996), o valor médio encontrado ($3,65 \text{ mg dm}^{-3}$) é considerado baixo. O teor médio de K também é considerado baixo, porém a MOS apresentou valor médio considerado alto. Segundo o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (K-S), os dados que apresentaram normalidade foram o NDVI e a MOS.

Tabela 1. Estatística descritiva e teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov (K-S) dos dados de índice de diferença de vegetação normalizada (NDVI), material vegetal seco (MS) em kg ha^{-1} , matéria orgânica do solo (MOS) em g dm^{-3} , P em mg dm^{-3} , K em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e soma de bases (SB) em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Variável	Média	Variância	Desvio padrão	CV%	Valor mínimo	Valor máximo	Assimetria	Curtose	Teste K-S
NDVI	0,428	0,009	0,092	21,49	0,162	0,730	0,555	1,179	0,092*
MS	1.772	1.536.000	1.239	69,95	165	5.636	0,766	-0,056	0,145
MOS	34,210	36,71	6,059	17,71	18	56	0,168	0,614	0,067*
P	3,652	1,333	1,155	31,62	1	8	0,715	1,048	0,187
K	1,197	0,659	0,812	67,80	0,7	7,9	5,714	41,750	0,290
SB	26,84	202,9	14,24	53,07	7,4	83,3	1,071	1,475	0,123

Valores críticos K-S: NDVI = 0,139, Solo e matéria seca = 0,120; *Distribuição normal. CV% = Coeficiente de variação.

Os semivariogramas obtidos pela análise geoestatística (Figura 2) indicaram dependência espacial para todos os dados. O melhor ajuste encontrado foi o modelo esférico para NDVI, MS, MOS e SB, e o modelo gaussiano para P e K, variando o alcance de dependência espacial entre 170 m e 600 m. O grau de dependência espacial (GD) indicou valores em porcentagem de dependência fraca para o P a moderada para as demais variáveis.

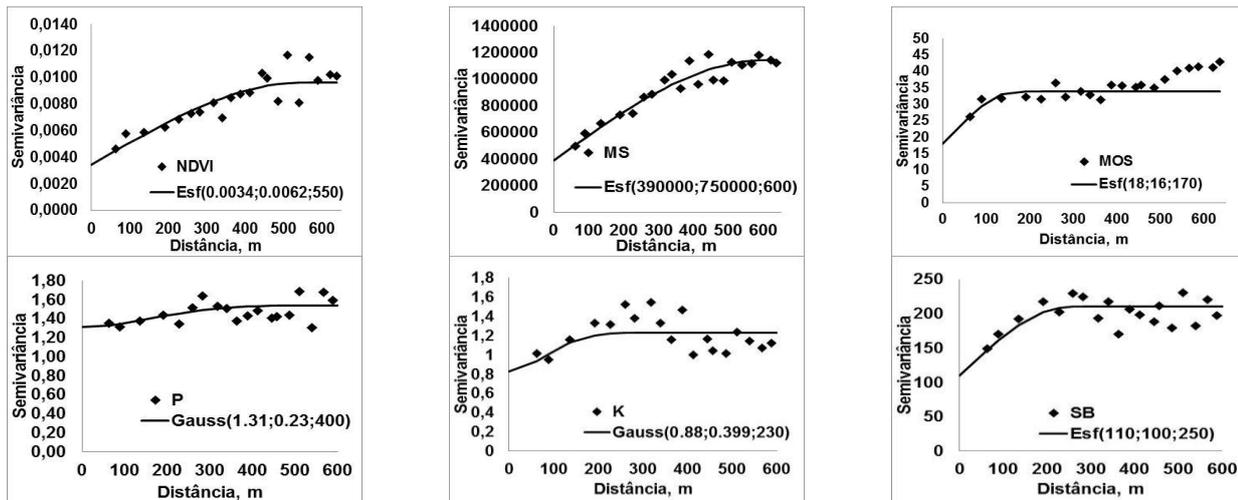


Figura 2. Semivariogramas ajustados: índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) com ajuste esférico (resíduo de tendência parabólica); produção de material vegetal seco (MS) com ajuste esférico e resíduo de tendência parabólica; matéria orgânica do solo (MOS) com ajuste esférico; fósforo (P) com ajuste gaussiano; potássio (K) com ajuste gaussiano; e soma de bases (SB) com ajuste esférico. Entre parênteses estão os parâmetros de ajuste C0, C1 e alcance.

Os parâmetros de ajuste foram utilizados pelo interpolador krigagem ordinária numa grade de pontos de 1 m x 1 m. A partir dos valores, foram construídos os mapas de isolinhas (Figura 3). A porção oeste da área de estudo apresenta em sua faixa central os valores mais baixos de MS e NDVI, assim como de MOS, K e SB. Isso indica possivelmente que a variação espacial na produção vegetal de *Brachiaria* é influenciada pela variação espacial dos teores de MOS, K e SB, que, por sua vez, estão relacionados à fertilidade do solo. O mesmo não ocorre com o P, em cujo caso a hipótese é a de que os teores de P não influenciam a produção vegetal, pois o P pode estar em formas não disponíveis para as plantas. Miguel et al. (2009) e Grego et al. (2012) também encontraram dependência espacial para a maioria dos atributos do solo sob pastagem.

Portanto, estes resultados trazem subsídios e podem contribuir no estudo de georastreabilidade desenvolvido nesta área, pois o caminhar dos animais pode ser influenciado pela quantidade e qualidade de biomassa da parte aérea da pastagem, que, por sua vez, varia espacialmente de acordo com a distribuição espacial da fertilidade do solo.

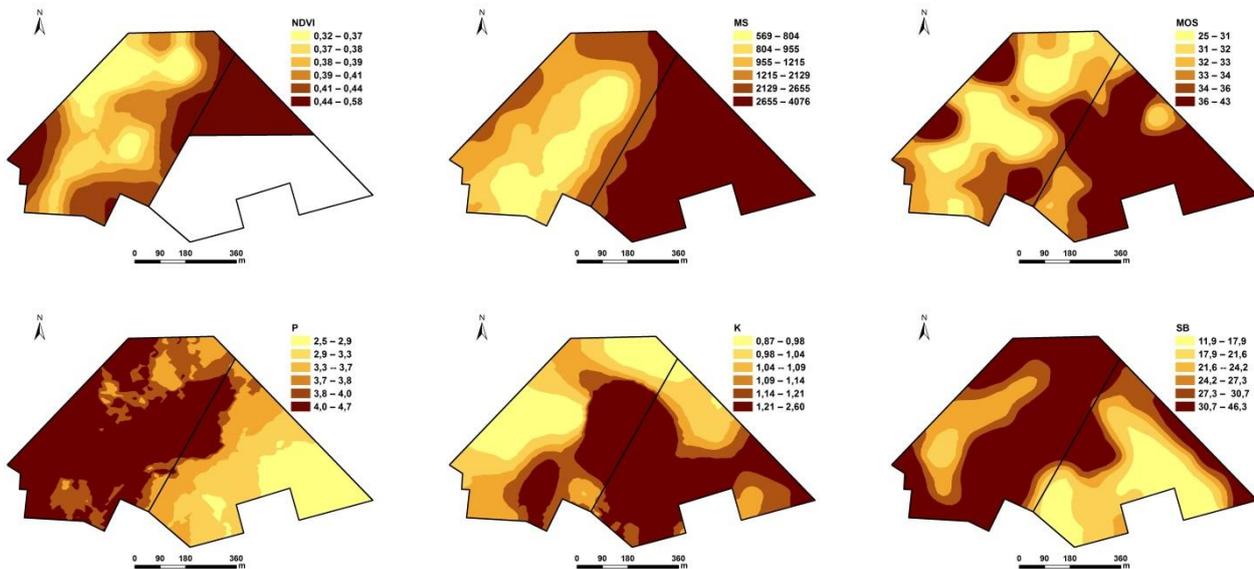


Figura 3. Mapa de isolinhas dos dados obtidos por krigagem ordinária de: índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI); produção de material vegetal seco (MS), em kg ha^{-1} ; matéria orgânica do solo (MOS), em g dm^{-3} ; fósforo (P), em mg dm^{-3} ; potássio (K), em $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$; e soma de bases (SB), em $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$.

4 CONCLUSÃO

Houve dependência espacial para os parâmetros de fertilidade do solo e da pastagem analisados. Nos mapas espacializados de NDVI e MS da pastagem, existem regiões semelhantes quanto à variação espacial de MOS, K e SB, o que indica que a distribuição espacial da MS da pastagem é possivelmente influenciada pelas diferenças de fertilidade do solo. Isso subsidia o estudo de rastreabilidade bovina na área, pois o caminhar dos animais pode ser influenciado pela quantidade e qualidade de biomassa da parte aérea da pastagem.

5 AGRADECIMENTOS

A Embrapa Monitoramento por Satélite pela oportunidade de estágio, ao projeto Sistema de geodécisão para rastreabilidade e produção sustentável da bovinocultura de corte (GeoRastro) e a Embrapa Gado de Corte pela parceria e por ceder a área de estudo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERNAZ, W. M. **Composição botânica, manejo de pastagens e relação com atributos dos solos em sub-bacias hidrográficas da região de Lavras, MG.** 2005. 117 f. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.



9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015
10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo

ANDRADE, R. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. Sustentabilidade da bovinocultura. **Revista Agroanalysis**, v. 35, n. 1, p. 29-31, 2015.

CHAILA, S. Metodos de evaluacion de malezas para estudios de poblacion y de control. **Malezas**, v. 14, n. 2, p. 1-78, 1986.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **GeoRastro**. Disponível em: <<http://www.cnpm.embrapa.br/projetos/georastro/index.html>>. Acesso em: 8 jun. 2015.

GREGO, C. R.; RODRIGUES, C. A. G.; NOGUEIRA, S. F.; GIMENES, F. M. A.; OLIVEIRA, A. de; ALMEIDA, C. G. F. de; FURTADO, A. L. dos S.; DEMARCHI, J. J. A. de A. Variabilidade espacial do solo e da biomassa epigea de pastagem identificada por meio de geoestatística. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1404-1412, 2012.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p.1513-1519, 2009.

PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. A. B.; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; LOPES, F. C. F.; ROSSIELLO, R. O. P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 573-579, 2007.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285 p. (IAC. Boletim técnico, 100).

SANTOS, J. T. dos; ANDRADE, A. P. de; SILVA, I. de F. da; SILVA, D. S. da; SANTOS, E. M.; SILVA, A. P. G. da. Atributos físicos e químicos do solo de áreas sob pastejo na micro região do Brejo Paraibano. **Ciência Rural**, v. 12, n. 12, p. 2486-2492, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782010001200008>. Acesso em: 10 jun. 2015.

UHDE, L. T.; SILVA, G. M. da; COSTA, P. U. N. da; MACHADO, L. J.; LONDERO, A. L.; RUPOLLO, C. Z.; JANTSCH, E. M. Alterações dos atributos do solo em área de pastagem de Florakirk sobressemeada com forrageiras hibernais, submetida ao manejo rotativo de gado leiteiro em uma unidade de observação do programa Rede Leite. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 19., 2012, Lages-SC. **Anais...** Florianópolis: SBCS: UDESC: EPAGRI: IFSC, 2012. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/71411/1/Resumo-expandido-RBMCSA.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2015.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54. v. 1.

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J. A.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for Geostatistical analysis of variability in soil and meteorological parameters. In: ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo 2**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p 1-45.

VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A.; GREGO, C. R. Aplicações de geoestatística em pesquisas com cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana de açúcar**. Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo, 2008. p. 839-852.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise especial de atributos químicos de solo para o mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Unesp, Botucatu, SP.