

Variabilidade espacial dos micronutrientes Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Cobre (Cu)

Eduardo Augusto Alves¹ e Helton Aparecido Rosa²

Resumo: Estudos que visem elucidar a variabilidade espacial de atributos de solo associada à resposta de produção das lavouras podem contribuir para a aplicação racional de insumos, possibilitando ganhos econômicos e ambientais. o presente trabalho objetivou identificar a distribuição espacial dos micronutrientes ferro, manganês e cobre em propriedade agrícola no município de Palotina, Paraná. Para a determinação das amostras, delimitou-se 16 pontos georreferenciados em espaçamento de 50m e profundidade de 0,20 m. Para tanto, foram coletadas amostras de solo para realizar o programa o mapeamento dos micronutrientes. Os atributos foram analisados por meio de estatística descritiva obtendo-se as medidas de posição (mínimo, média e máximo) e de dispersão (desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose). Os atributos estudados apresentaram estrutura de dependência espacial forte e moderada. Assim o mapeamento permite ao agricultor a identificação de áreas com maior necessidade de adubação.

Palavras-chave: Calagem, geoestatística, mapeamento.

Spatial variability of micro-nutrients iron (FE), Manganese (MN) and copper (Cu)

Abstract: Studies aimed at elucidating the spatial variability of soil attributes associated with crop production response can contribute to the rational application of inputs, making possible economic and environmental gains. The present work aimed to identify the spatial distribution of iron, manganese and copper micronutrients in agricultural property in the municipality of Palotina, Paraná. For the determination of the samples, 16 georeferenced points were delimited in spacing of 50m and depth of 0.20 m. For that, soil samples were collected to carry out the program the mapping of micronutrients. The attributes were analyzed by means of descriptive statistics, obtaining the position measurements (minimum, mean and maximum) and dispersion (standard deviation, coefficient of variation, asymmetry coefficient and kurtosis coefficient). The attributes studied presented strong and moderate spatial dependence structure. Thus the mapping allows the farmer to identify areas with greater need for fertilization.

Key words: Liming, geostatistics, mapping.

¹Formando do curso de agronomia do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – PR. eduardolosbahiano@hotmail.com

²Engenheiro Agrícola, Mestre em Energia na Agricultura. Professor curso de Agronomia do Centro Universitário FAG. helton@fag.edu.br

Introdução

O solo é muito mais do que uma simples camada superficial da terra, por isso é conhecido como o substrato terrestre que se constitui por matérias orgânicas e por sua vez tem capacidade de sustentar plantas e vegetais sobre sua estrutura em um ambiente aberto, sendo resultante do intemperismo e da decomposição das rochas. É o material orgânico ou mineral inconsolidado na porção superior da crosta terrestre que serve de base para todas as atividades socioespaciais e naturais. O solo é um recurso renovável, ou seja, ele é um elemento natural que pode ser utilizado pelo homem por diversas vezes em suas atividades produtivas, porém a má utilização e a falta de práticas conservacionistas dos solos fazem com que eles se tornem incultiváveis (PENA *et al.*, 2017).

Os micronutrientes ocorrem em teores muito baixos no solo e a quantidade total varia com o material de origem e o grau de intemperização dos solos. Solos derivados de basalto são mais ricos em micronutrientes, que os derivados de arenitos (GIRACCA e NUNES, 2017).

A deficiência de micronutrientes está muito generalizada por todo o mundo, devido ao aumento na demanda de micronutrientes por práticas mais intensivas de manejo e adaptação de cultivares altamente produtivos, que podem ter maior exigência a micronutrientes (FAGERIA; BALIGAR; CLARK, 2012)

Diferentes estratégias podem ser implementadas para aumentar a eficiência do uso de nutrientes para maximizar os benefícios para o sistema planta-solo-atmosfera. Em geral, algumas mudanças no manejo agrícola podem aumentar a eficiência do uso dos nutrientes, tais como: a diminuição de limitações – física, química ou biológica – para o crescimento das plantas; adubações equilibradas; fornecimento adequado de água; ajuste do fornecimento de fertilizantes à demanda das plantas; otimização da dose e época de fornecimento de nutrientes; adubações parceladas; uso de rotação de culturas; e uso de fontes mais eficientes (CHIEN; PROCHNOW; CANTARELLA, 2009).

A variabilidade espacial dos atributos do solo é uma característica natural, ligada aos fatores pedogenéticos (WEBSTER, 2000). A agricultura de precisão abrange diversas técnicas como manejo da fertilidade do solo. Os insumos são dosados de acordo com a necessidade identificada no solo visando otimizar a produção. Para ampliar a produção, constitui-se fundamental a determinação da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo com coleta de amostras (BOTTEGA, *et al.*, 2013).

A agricultura de precisão (AP) pode ainda ser definida como o uso de práticas agrícolas com base nas tecnologias de informação para o tratamento da variabilidade espacial.

75 E pode ser entendida como um ciclo que se inicia na coleta dos dados, análises e interpretação
76 dessas informações, geração das recomendações, aplicação no campo e avaliação dos
77 resultados (GEBBERS e ADAMCHUK, 2010).

78 Com o início do uso da AP no Brasil, na segunda metade da década de 1990,
79 inadvertidamente criou-se uma forte imagem de que esta seria uma agricultura realizada com
80 máquinas sofisticadas, que não atenderia aos pequenos produtores (BERNARDI *et al.*, 2014).

81 Mais recentemente, o conceito da AP como uma postura gerencial que leva em conta a
82 variabilidade espacial da lavoura para obter retorno econômico e ambiental (INAMASU *et*
83 *al.*, 2011). Neste contexto, a análise detalhada da variabilidade dos atributos do solo pode
84 indicar alternativas de manejo para a redução dos efeitos da sua variabilidade sobre a
85 produção das culturas; assim, devido tanto ao recém-surgimento como à inquestionável
86 importância prática da AP, ultimamente no Brasil os estudos geoestatísticos visando conhecer
87 melhor a variabilidade dos atributos químicos no solo vêm ganhando cada vez mais, destaque
88 e importância (ZONTA *et al.*, 2014).

89 Atualmente, a amostragem de solo em grades georreferenciadas, o mapeamento das
90 propriedades do solo e a aplicação de corretivos e fertilizantes em taxas variáveis são as
91 tecnologias de AP mais utilizadas pelos produtores (BERNARDI *et al.*, 2014).

92 A aplicação do objeto da geoestatística na agricultura de precisão tem por objetivo
93 caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo e das culturas e estimar as inter-
94 relações desses atributos no espaço e no tempo. Com base nos modelos ajustados dos
95 semivariogramas, interpolam-se os dados pela técnica da krigagem, gerando vários mapas ou
96 superfícies (GREGO *et al.*, 2014).

97 Essas novas tecnologias ligadas a agricultura de precisão como a geoestatística,
98 surgem como uma das técnicas mais significativas, visto que ela permite determinar se um
99 atributo apresenta ou não estrutura espacial. (GONÇALVES; FOLEGATTI; MATA, 2001).

100 O conjunto de geoprocessamento, ou geotecnologias – que incluem as tecnologias para
101 coleta, processamento, análise e disponibilização de informação com referência geográfica –,
102 tem grande potencial para gestão da produção agrícola e pecuária (BATISTELLA *et al.*,
103 2011).

104 A partir da variabilidade espacial e da relevância dos micronutrientes, o presente
105 trabalho objetivou identificar variabilidade espacial da concentração de três micronutrientes:
106 ferro (Fe), manganês (Mn) e cobre (Cu).

107

108

Material e Métodos

A coleta de dados foi realizada em área de 4,9383 hectares, localizada na Linha La Salle no município de Palotina, Paraná, situada entre as coordenadas geográficas 24°13'43,06" S de latitude e 53°46'18,82 O de longitude.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico de textura muito argilosa (EMBRAPA, 2006). O clima é subtropical úmido. O município apresenta relevo plano com altitude de 332 metros. A área do estudo constitui ponto de maior altitude do município. A propriedade realiza rotações de cultura com soja e milho a partir do plantio direto. A área foi subdividida em 16 amostras coletadas de 0,20 cm de profundidade.

A demarcação da área do estudo foi obtida a partir do uso de aparelho de GPS. Foram delimitados 16 pontos georreferenciados em um espaçamento de 50m entre as coordenadas X e Y. A coleta das amostras foi obtida a partir de trado holandês. Cada amostra coletada foi encaminhada ao laboratório para análise. Os atributos analisados foram: os níveis dos micronutrientes: ferro (Fe), manganês (Mn) e cobre (Cu).

A variabilidade do solo foi inicialmente avaliada através da análise descritiva dos dados, calculando se a média, mediana, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose, também foi realizada as análises de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk.

A estatística utilizada foi realizado pela interpolação dos dados pelo método de krigagem para obtenção mapas temáticos através software Surfer 9 (GOLDEN SOFTWARE, 2010).

Resultados e Discussão

Em referência aos dados analisados pela estatística de concentração espacial dos micronutrientes ferro, manganês e cobre na Tabela 1. A média e mediana dos mesmos são altas, especialmente manganês, demonstrando distribuição quase simétrica, atestada ainda pelo valor da assimetria dos mesmos que encontra-se próximo de zero. Santos *et al* (2015) encontraram resultados semelhantes em seu estudo de variabilidade espacial de micronutrientes em uma lavoura de pimenta-do-reino.

Utiliza-se o coeficiente de assimetria para demonstrar como e quanto a frequência se distancia da simetria. Com a assimetria > 0 , constata-se distribuição assimétrica a direita, em contrapartida ao obter assimetria < 0 , tem-se distribuição assimétrica a esquerda. Obtendo a assimetria $= 0$, diz-se que a distribuição é simétrica (GUIMARÃES, 2000).

O coeficiente de curtose, demonstra o grau de achatamento da curva, a dispersão da distribuição de um padrão. Os resultados podem ser: $= 0$, caracterizando distribuição

mesocúrtica; coeficiente de curtose < 0 , platicúrtica e por fim coeficiente de curtose > 0 indicando curva leptocúrtica (SILVA et al., 2010).

Apresentando assim o cobre maior coeficiente de variação na camada de 0-20cm com 17.945%, em seguida o ferro de 0-20cm que foi analisada com 13.54% e por último o manganês de 0-20cm com o menor CV, 13.44%.

Segundo a classificação Warrick e Nielsen (1980), todas as camadas apresentaram o coeficiente de variação considerado médio, entre 12% e 62%.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos dados de concentração espacial dos micronutrientes.

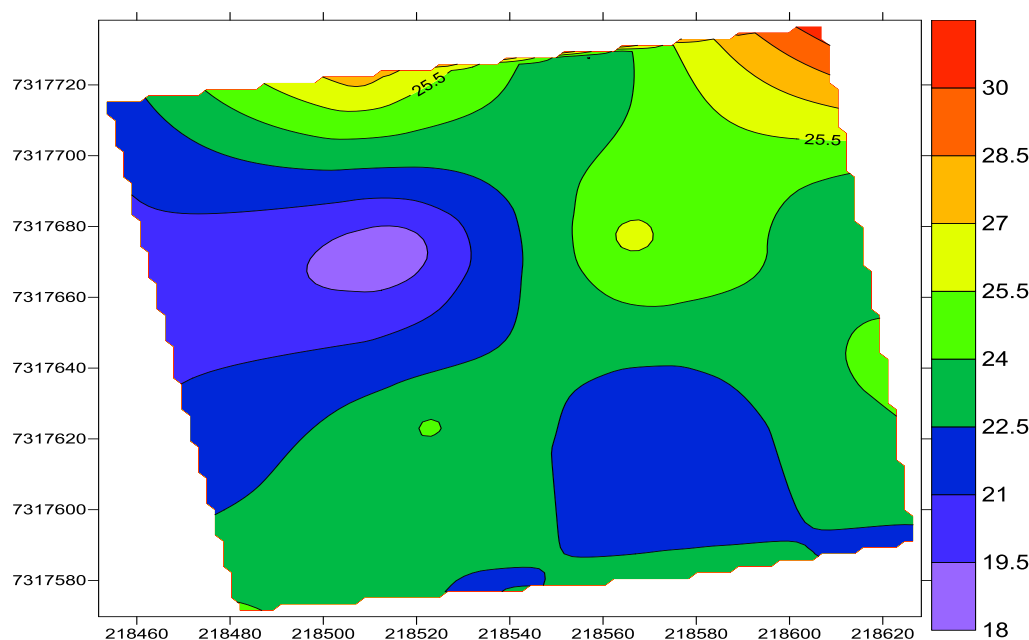
Estatística descritiva	Propriedade		
	Ferro	Manganês	Cobre
	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
Média	23,31	41,38	1,925
Mediana	22,45	40,35	1,900
1º Quartil	21,38	36,08	1,675
3º Quartil	24,40	46,75	2,050
Curtose	0,4916	-1,715	-0,668
Assimetria	0,8578	0,1909	0,320
Mínimo	18,00	34,50	1,300
Máximo	31,30	50,00	2,600
CV (%)	13,54	13,44	17,945

Com a aplicação do software Surfer 9, foram gerados os mapas (Figura 1, 2 e 3) que demonstram a distribuição espacial dos três micronutrientes estudados. Utilizou-se, para tanto, o método da krigagem que consiste em ponderar as proximidades dos pontos estimados, seguindo regras de não tendenciosidade, ou seja, que a diferença entre valores estimados e observados para o ponto deve ser nula (GREGO; OLIVEIRA; VIEIRA, 2018).

A presença de ferro com média de 23.31mg/dm³ é caracterizado como normal, sendo muito semelhante ao encontrado por Prezotti et al(2007) encontra-se na faixa de teor médio (de 20 a 45). Observou-se que o manganês apresentou maior alcance, sendo considerado alto com media 41.3831mg/dm³ de acordo com Prezotti et al. (2007) encontra-se na faixa de teor médio (de 5,0 a 12). O nível médio de cobre encontrado foi de 1.925Cmolc/dm³, que de acordo com Silva et al. (2010) encontra-se na faixa de teor médio (de 0,8 a 1,8).

Na concentração do ferro, houve uma estatística descritiva média de 23.31, sendo que a maioria dos valores está entre a faixa 22.5 a 25.5, Figura 1.

Figura 1 -Mapa da concentração espacial do micronutriente ferro para a camada de 20cm

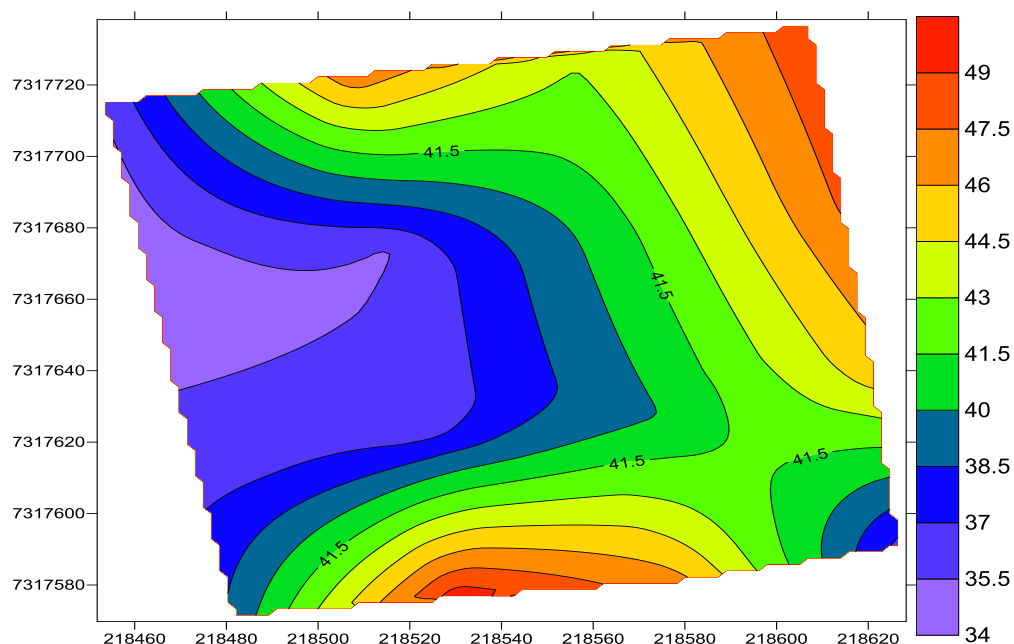


Percebe-se especialmente nos pontos extremos do mapa (Figura 1) variações importantes, que podem ser explicadas em parte, pois, próximo a área mais pobre da presença de ferro passa a estrada rural. Rhoton (2000) relata que a maior quantidade de matéria orgânica do solo no sistema de semeadura direta reduziu a disponibilidade de Fe pela formação de complexos Fe-ácido fúlvico. De acordo com Shuman e Hargrove (1985), não ocorre aumento nos teores de Fe nos primeiros centímetros do solo, devido à sua rápida oxidação ao ser liberado da matéria orgânica, o que justificaria esses resultados.

Na concentração do manganês, houve uma estatística descritiva média de 41.38, sendo que a maioria dos valores está entre a faixa 35.5 a 44.5, Figura 2.

Apresenta maior área índices inferiores da distribuição de manganês e em dois pontos específicos e extremos do mapa (Figura 2) a presença aumenta de forma considerável. O Mn é considerado alto acima de 5 mg/dm³ sugerindo então uma intervenção na área com aplicação de corretivo ao solo. Assim apresentaram dependência espacial alta, segundo classificação estabelecida por Cambardella et al. (1994).

190 **Figura 2** -Mapa da concentração espacial do micronutriente manganês para a camada de
191 20cm



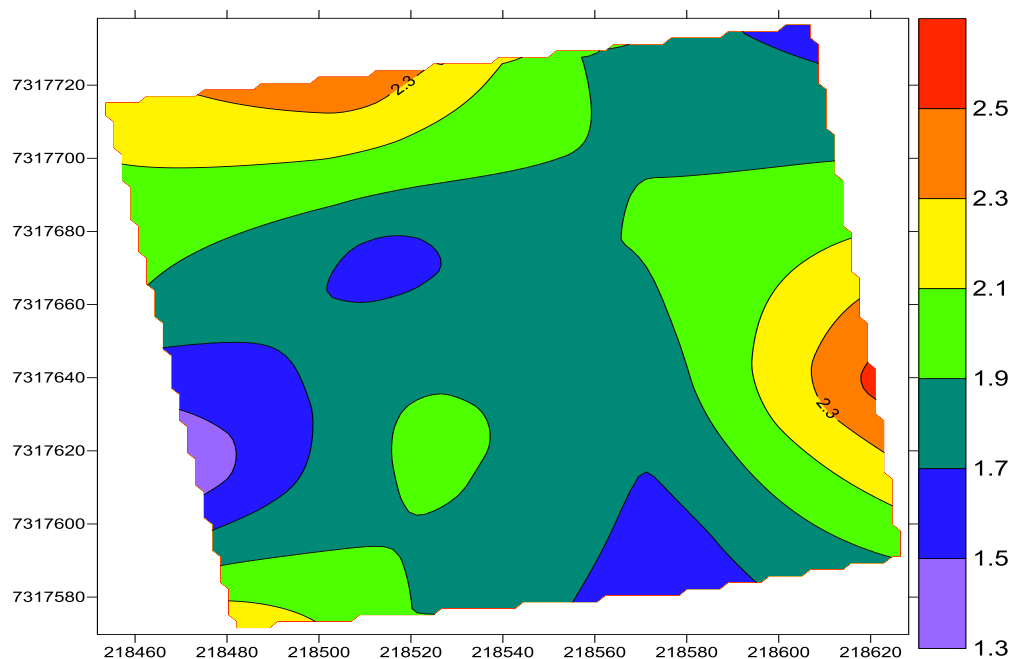
192

193

194 Na concentração do cobre, houve uma estatística descritiva média de 1.925, sendo que
195 a maioria dos valores está entre a faixa 1.7 a 2.1, Figura 3.

196 O elemento cobre (Cu) é o que apresenta mais discordância, ou seja, os valores
197 normalmente encontrados em lavouras com alta produtividade são menores que aqueles
198 encontrados pela pesquisa, com média ao redor de 10 mg/dm³. Esses valores também estão de
199 acordo com os encontrados por Vitti e Luz (1998).

200 **Figura 3** -Mapa da concentração espacial do micronutriente cobre para a camada de 20cm



201

Percebe-se de modo geral que a área possui índices inferiores a média encontrada, com a presença de uma região com menor índice identificado, em contrapartida de um dos extremos com índices mais elevados. (Figura 3).

Conclusão

Os atributos estudados apresentaram estrutura de dependência espacial forte e moderada. Assim o mapeamento permite ao agricultor a identificação de áreas com maior necessidade de adubação.

Referências

BATISTELLA, M.; ANDRADE, R. G.; BOLFE, É. L.; VICTORIA, D. C.; SILVA, G. B. S. Geotecnologias e gestão territorial da bovinocultura no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, p. 251-260, 2011.

BERNARDI, A.C.C.; INAMASU, R.Y. Adoção da agricultura de precisão no Brasil. In: BERNARDI, A.C.C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R.Y. (Ed.). **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 559-577.

BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SOUZA, C.M.A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 1-9, jan./mar. 2013.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society**, 58:1501-1511, 1994.

CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 102, p. 267-322, 2009.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2º edição; Embrapa Solos; Rio de Janeiro. 2006.

FAGERIA N.K.; BALIGAR V.C.; CLARK, R.B. Micronutrientes in crop production. **Advances in Agronomy**, New York, v. 77, p. 185-268, 2002.

GIRACCA, E.M.N.; NUNES, J.L.S. **Nutrientes**. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes_361443.html>. Acesso em: 11 Abril 2017.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for windows version 9.0**. Colorado: Golden, 2010.

GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V.; MATA, J.D.V. da. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.23, n.5, p.1149-1157, 2001.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. Precision agriculture and food security. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 828-31, 2010.

GREGO, C. R.; ARAUJO, L. S.; VICENTE, L. E.; NOGUEIRA, S. F.; MAGALHÃES, P. S. G.; VICENTE, A. K.; BRANCALIAÃO, S. R.; VICTORIA, D. C.; BOLFE, E. L. Agricultura de precisão em cana-de-açúcar. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014a. p. 442-457.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P. de; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014b. cap. 5, p. 74-83.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho-escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. 2000. 85 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) -Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. p. 84-95.

PENA, A.F. "Solo"; *Brasil Escola*. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/o-solo.htm>>. Acesso em 17 de abril de 2017.

PREZOTTI, L.C.; GOMES, J.A.; DADALTO, G.G. & OLIVEIRA, J.A. **Manual de recomendação de Calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo** - 5ª aproximação. Vitória, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

RHOTON, F.E. Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.2, p.700-709, 2000.

SANTOS, E. O. J. Variabilidade espacial de macronutrientes em uma lavoura de café conilon no Norte do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 469-476, jul-set, 2015.

SILVA, S. A. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 15-22, 2010.

SHUMAN, L.M.; HARGROVE, L. Effect of tillage on the distribution of manganese, copper, iron and zinc in soil fractions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, n.5, p.1117-1121, 1985.

VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C. de. Manejo químico do solo para alta produtividade da soja. In: CÂMARA, G.M.S. (ed.). **Tecnologia da produção**. Piracicaba, 1998. p.84-112.

- 291
292 WEBSTER, R. Is soil variation random? **Geoderma**, Amsterdam, v. 97, p. 149-163, 2000.
293
294 WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the
295 field. In: HILLEL, D., ed. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, 1980.
296
297 ZONTA, J.H.; BRANDÃO, Z.N.; MEDEIROS, J.C.; SANA, R.S.; SOFIATTI, V.
298 Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do
299 Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18,
300 n.6, p.595–602, 2014.
301