

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS
DO SOLO**

FRANCIELY LOPES DA CRUZ

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2017

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

FRANCIELY LOPES DA CRUZ
Engenheira Agrícola

Orientador: PROFa. Dra. ANAMARI VIEGAS DE ARAUJO MOTOMIYA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados, como
parte das exigências para conclusão do curso de
Engenharia Agrícola.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2017

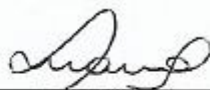
VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Por

Franciely Lopes da Cruz

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRA AGRÍCOLA

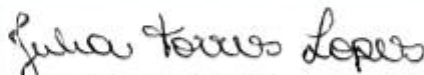
Aprovado em: 22 de Março de 2017



Prof. Dra. Anamari Viegas de Araujo Motomiya
Orientadora – UFGD/FCA



Prof. Dr. Eber Augusto Ferreira do Prado
Membro da Banca – UFGD/FCA



Eng.ª Florestal Julia Torres Lopes
Membro da Banca – UFGD/FCA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C957v Cruz, Franciely Lopes Da
Variabilidade espacial de atributos químicos do solo / Franciely Lopes Da
Cruz -- Dourados: UFGD, 2017.
32f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Anamari Viegas de Araujo Motomiya

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola) -Faculdade de Ciências Agrárias,
Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Dependência espacial. 2. Geoestatística. 3. Krigagem. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ser meu guia e sempre iluminar meu caminho.

A minha orientadora Prof^ª Anamari Viegas de Araujo Motomiya pelo incentivo e presteza no auxílio às atividades, principalmente sobre o andamento e normatização deste trabalho de Conclusão de Curso.

Um agradecimento muito especial a meu pai Francisco Franco da Cruz e minha mãe Cleonice Dias Lopes da Cruz por serem minha base, meu alicerce e meu orgulho. Obrigada pelos melhores conselhos, ensinamentos e compreensão, e por me darem todo o suporte necessário nesta etapa de minha vida, além do incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço e pelos seus esforços em todos esses anos de vida para me tornar uma pessoa melhor.

A minha irmã Clarice Lopes da Cruz por estar sempre ao meu lado, me incentivando e me apoiando em todas as minhas decisões.

E a meus amigos, por sempre estarem dispostos a me ajudar, me ouvir e me aconselhar.

Agradeço também a todas as pessoas que direta ou indiretamente fizeram parte deste trabalho, o meu muito obrigada e que Deus abençoe a todos vocês!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	III
LISTA DE TABELAS.....	IV
RESUMO.....	V
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Variabilidade espacial do solo.....	3
2.2 Amostragem.....	5
2.3 Semivariância.....	5
2.4 Interpolação dos dados.....	7
2.5 Mapas de Fertilidade.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
5. CONCLUSÕES.....	18
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

LISTA DE FIGURAS

	página
FIGURA 1. Área com os pontos de coletas georreferenciados.....	16
FIGURA 2. Modelos de semivariogramas com patamar.....	17
FIGURA 3. Classificação do Coeficiente de curtose em relação a curva.....	20
FIGURA 4a. Semivariogramas dos atributos químicos do solo (valores entre parênteses são respectivamente, efeito pepita, patamar e alcance, para todos os modelos dos semivariogramas, exceto para o modelo linear, o qual apresenta somente o efeito pepita e patamar.....	22
FIGURA 4b. Semivariogramas dos atributos químicos do solo (valores entre parênteses são respectivamente, efeito pepita, patamar e alcance, para todos os modelos dos semivariogramas, exceto para o modelo linear, o qual apresenta somente o efeito pepita e patamar.....	23
FIGURA. 5a. Mapas de variabilidade espacial dos atributos químicos estudados.....	24
FIGURA 5b. Mapas de Variabilidade espacial dos atributos químicos estudados.....	25

LISTA DE TABELAS

Página

- TABELA 1. Valores de média, mediana, desvio-padrão, coeficiente de variação (CV), curtose, assimetria, valor máximo, valor mínimo dos atributos do solo e quantidade de amostras usadas para gerar a estatística de cada variável.....19
- TABELA 2. Efeito pepita(Co), patamar(Co+C), alcance(Ao), Coeficiente de determinação(R²), relação efeito pepita/patamar, modelos dos semivariogramas ajustados aos dados experimentais, Grau de dependência espacial e sua classificação.....21

CRUZ, Franciely Lopes da. **Variabilidade Espacial de Atributos Químicos do Solo**. 2017.33p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS

RESUMO

A conciliação de dados espacialmente distribuídos na área agrícola, através de suas análises constitui importante ferramenta de diagnóstico para uso mais eficiente das informações, possibilitando melhor manejo da variabilidade no campo. Objetivou-se com este trabalho estudar, mediante a geoestatística, a variabilidade espacial de atributos químicos do solo após a colheita do milho safrinha. A pesquisa foi desenvolvida na Fazenda Água Boa localizada no município de Antônio João /MS. Coletaram-se dados do solo, dispostos segundo uma malha de 153 pontos amostrais, espaçados de 70 m, em uma camada de 0 - 0,20m. Após análises laboratoriais os dados foram explorados no programa GS+®. Foram determinadas as seguintes variáveis PH CaCl₂, PH H₂O, P e K disponíveis; Ca, Mg e Al trocáveis, H + Al. Calcularam-se a saturação por bases (V %), CTCtotal (T) e soma de bases (SB). Os dados foram avaliados por estatística descritiva e pela análise de dependência espacial, com base no ajuste de semivariogramas, foi feita interpolação dos dados por krigagem e construção de mapas de isolinhas. A maioria dos atributos apresentou coeficiente de variação (CV) médio, sendo o maior encontrado para Al, 96,75 %, e o menor, para pH CaCl₂, pH H₂O. A grande maioria dos atributos avaliados mostrou dependência espacial, a qual foi classificada como moderada e forte. Maior parte dos dados se ajustou ao semivariograma de modelo Esférico, seguido pelo Gaussiano e exponencial.

Palavras-chave : dependência espacial; geoestatística; krigagem.

ABSTRACT

The reconciliation of spatially distributed data in the agricultural area through its analyzes is an important diagnostic tool for a more efficient use of information, allowing a better management of variability in the field. The objective of this work was to study, through geostatistics, the spatial variability of chemical attributes of the soil after the harvest of the corn crop. The research was developed at Fazenda Água Boa located in the municipality of Antônio João / MS. Soil data were collected according to a mesh of 153 sample points spaced 70 m in a 0-20 m layer. After laboratory analysis the data were explored in the GS + ® program. The following PH variables CaCl₂, PH H₂O, P and K were determined; Ca, Mg and Al, H + Al. Base saturation (V%), CTCtotal (T) and base sum (SB) were calculated. The data were evaluated by descriptive statistics and spatial dependence analysis, based on semivariograms adjustment, interpolation of data by kriging and construction of isoline maps. Most of the attributes presented a mean coefficient of variation (CV), the highest one found for Al, 96.75%, and the lowest for pH CaCl₂, pH H₂O. The great majority of the evaluated attributes showed spatial dependence, which was classified as moderate and strong. Most of the data conformed to the semivariogram of the Spherical model, followed by the Gaussian and exponential.

Keywords: spatial dependence; geostatistics; kriging.

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda de mercado e com o aumento significativo da produção agrícola, monitorar, analisar e gerenciar uma área antes de se desenvolver uma cultura é extremamente necessário. Com o intuito de otimizar custos de forma racional, o processo de produção vem sendo analisado por meio de estudos geoestatísticos e, através desta análise, são estimados parâmetros que caracterizam a estrutura de dependência espacial para fins de criação de mapas temáticos que são importantes para tomar decisões e melhorar o gerenciamento dos processos produtivos das áreas agrícolas, além disso, são importantes indicadores para um melhor uso e manejo do solo, otimizando a aplicação localizada de corretivos e fertilizantes, melhorando, dessa maneira, o controle do sistema de produção.

No que diz respeito à produção agrícola, as culturas recebem, de modo geral, um manejo convencional, no qual as práticas culturais são aplicadas uniformemente visto que se assume a homogeneidade dos fatores de produção, em todo o campo. O desconhecimento pontual ou localizado dos fatores de produção pode tornar as metas de produtividade impróprias e levar ao uso excessivo de insumos, conduzindo a uma produção ineficiente, com altos custos e danos ambientais; portanto, a variabilidade, nos aspectos produtivos e de desenvolvimento de uma cultura dentro do campo, pode ser devida às características do solo, clima ou induzida pelo manejo (MIRANDA et al., 2005).

Para a aplicação do manejo adequado, necessita-se do conhecimento do mapa da produtividade da cultura, que deve ser o primeiro passo a ser realizado, pois permite a visualização da variabilidade da produção. A correlação entre o mapa da produção e os elementos químicos permite a tomada de decisões sobre o manejo a ser adotado (BIFFI; RAFAELI, 2008)

Na ciência do solo, observa-se um crescimento na aplicação da geoestatística, considerada como uma ferramenta adicional no estudo de seus atributos químicos. A geoestatística facilita o estudo do comportamento da variabilidade espacial destes atributos, permitindo assim, uma melhor interpretação dos resultados com base na distribuição espacial dos atributos do solo, além de quantificar a sua magnitude (CAVALCANTE et al., 2007). Por sua vez que os atributos químicos do solo, após sofrerem sucessivas alterações provocadas pelas atividades agrícolas e, conseqüentemente, pelos processos erosivos, comportam-se de forma bastante diferenciada ao longo da paisagem

Além de auxiliar na tomada de decisão do manejo, conhecer e quantificar a variação dos atributos de solo e os relativos à planta, é importante para auxiliar no procedimento de amostragem (LIMA et al., 2007). A coleta de amostras de solo georreferenciadas permite espacializar os atributos químicos, com o auxílio das ferramentas de geoestatística, visando identificar zonas com restrições químicas que possam estar limitando o rendimento (SILVA et al., 2003).

O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo sempre foi importante instrumento no processo da escolha da área experimental, locação das unidades experimentais, coleta de amostras e análise de produtividade (SILVA; CHAVES, 2006), além da tomada de decisões sobre técnicas de manejo a serem adotadas porém a variabilidade espacial, se não considerada, pode levar a conclusões errôneas de resultados experimentais e ao uso incorreto de áreas agrícolas. Mas, se considerada, poderá tornar-se um instrumento significativo, possibilitando melhor conhecimento, planejamento e interpretação de experimentos usados para recomendações de manejo do solo e culturas (ALBUQUERQUE et al., 1996).

Recentemente técnicas de geoestatística tem sido utilizadas para determinar as variações espaciais das características dos solos. O conceito básico seria de que a diferença no valor de uma dada variável em dois pontos distintos é dependente da distância entre esses dois pontos. Quanto menor a distância, menores as diferenças. Na geoestatística o semivariograma é utilizado para representar a variabilidade de uma propriedade do solo como função da separação entre pontos amostrais. Estas técnicas podem ser utilizadas para estabelecer parâmetros do solo em regiões não amostradas baseados em regiões amostradas, como também para determinação das dimensões ideais do grid para amostragem.

A variabilidade de atributos do solo é preocupação antiga e, ainda hoje, diversos autores se dedicam a pesquisar os efeitos dessa variação (SOUZA et al., 2004) (b), já que esta pode afetar decisivamente os resultados em pesquisas.

O objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial de atributos químicos do solo após a colheita do milho safrinha e elaborar mapas georreferenciados visando a aplicação mais eficiente de insumos agrícolas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Variabilidade espacial do solo

Para o estudo da variabilidade espacial de atributos do solo, o primeiro passo é a análise estatística onde é feita a tabulação dos dados (ZIMBACK, 2001), assim, cada variável deve ser submetida a divisão em classes, e estas classes analisadas e depois representadas graficamente pelo histograma de frequência simples.

No estudo da variabilidade do solo, a análise dos dados era realizada através do método estatístico, classicamente aplicado às amostras de populações, porém, este exige a validação de algumas hipóteses básicas, como a independência entre as observações, a variância constante e a distribuição normal dos dados. Já a geoestatística, que preconiza a heterogeneidade dos dados (dependência entre as observações), vem apresentando aplicação crescente na avaliação da variabilidade espacial de parâmetros de interesse em ciências agrárias, permitindo a interpretação dos resultados com base na estrutura da sua variabilidade natural, considerando a existência de dependência espacial dentro do espaço de amostragem (TAKEDA, 2000).

A base para os estudos geoestatísticos surgiu quando o matemático D.G. Krige, trabalhando na indústria de mineração de ouro na África do Sul, percebeu que a variância dos teores dos dados era explicada quando se levava em consideração as distâncias entre as amostras (VIEIRA, 2000), diferindo dos métodos clássicos de análise estatística de dados, onde supõem-se que as variações vizinhas não exercem influência umas sobre as outras (GUIMARÃES, 2004).

A partir das observações de Krige, conforme Camargo (1997), Matheron (1963, 1971) desenvolveu uma teoria a qual chamou de Teoria das Variáveis Regionalizadas, definida como uma função espacial numérica variável de um local para outro, com certa continuidade, onde sua variação não pode ser representada por uma função matemática simples. Essa continuidade denominada dependência espacial, pode ser estimada pelo semivariograma, o qual permite a interpolação dos dados para locais não amostrados através da krigagem, gerando mapas de isolinhas da característica estudada (VIEIRA et al., 1983).

Ladim (2003) destacou que esse conceito é muito mais abrangente que a estatística clássica, que presume que os valores amostrais sejam realizações de uma variável casual, onde as posições relativas das amostras são ignoradas e todos os valores amostrais tem a mesma possibilidade de serem escolhidos.

A variabilidade espacial dos atributos químicos é condicionada não só aos fatores de gênese do solo, mas também fatores temporais, diferentes cultivos e diferentes tratamentos dentro de uma mesma área aparentemente homogênea. Pode-se então dizer que cada solo tem suas características próprias e diferem entre si, com maior ou menor variabilidade espacial entre seus atributos, tornando evidente a necessidade de diferentes grades amostrais que demonstrem representatividade em cada área (KNOB, 2006).

Desta maneira, encontrar a variabilidade dos atributos em todas as porções do terreno tem se mostrado uma ferramenta para uso na agricultura, e é possível mediante a amostragem georreferenciada do solo (LIMA et al., 2010).

A coleta de amostras a serem analisadas através da geoestatística pode ser realizada da seguinte maneira: segundo transecções em uma dada direção x , podendo ser cada local de amostragem equidistante do outro por uma distância L , denominada “lag” (espaçamento); ou segundo um “grid” (malha) nas direções x , y , podendo novamente cada coleta estar separada por uma distância L constante.

A variabilidade espacial das propriedades dos solos pode ser melhor visualizada e quantificada quando métodos de análise de amostras regionalizadas são empregados. A geoestatística descreve a variabilidade a partir de correlogramas e semivariogramas (REICHARDT, 1985), que exhibe o nível de dependência espacial da variável em estudo, bem como o alcance de cada amostragem (GUPTA et al., 1995), além das relações entre as diversas variáveis.

A dependência espacial é o quanto o resultado de uma amostra pode influenciar no resultado de outra amostra, tendo a distância como variável principal, onde amostras mais próximas tendem a apresentar resultados mais parecidos do que quando as distâncias entre estas amostras são maiores (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

O valor entre as amostras pode apresentar uma continuidade até certa distância, onde a partir deste ponto já não apresenta dependência, e neste caso pode-se dizer que as amostras são aleatórias e que uma não exerce influência sobre a outra (GUIMARÃES, 2004).

2.2 Amostragem

No método tradicional (RAIJ,1991), as amostras são retiradas aleatoriamente dentro de uma determinada área da propriedade, e as recomendações são feitas com base na média química dos resultados das análises, é importante lembrar que os resultados médios podem subestimar a dosagem de determinado insumo em um local na propriedade e superestimar em outro (COELHO, 2003).

Usando o método da Agricultura de Precisão as amostras são coletadas preferencialmente sobre uma grade onde são estipuladas distâncias entre os pontos amostrados, cada ponto é georreferenciado e representa uma área determinada pela distância entre os pontos vizinhos, chamada de grade de amostragem ou grade amostral, o qual recebe tratamento individual para confecção de mapas dos atributos de interesse (CHUNG et al., 1995)

McBratney & Webster (1983) destacaram a importância do conhecimento do semivariograma para permitir a definição de uma ótima intensidade de amostragem. Quando isto não é possível, recomenda-se uma amostragem sistemática em malha regular, determinada pelo número de observações que o interessado tenha condições de fazer.

Menegatti et al. (2005) constataram, em solo cultivados com cana-de-açúcar, que a utilização de uma densidade amostral de uma amostra a cada 5 ha, reduziu em 35% a necessidade de calcário da área, em relação ao método aleatório de amostragem.

Ferraz et al. (2011), estudando a viabilidade econômica da agricultura de precisão em lavouras de café, verificaram que adubações baseadas nesta tecnologia foram economicamente mais vantajosas do que o modo convencional de adubação, principalmente em áreas maiores.

2.3 Semivariância

A ferramenta geoestatística utilizada para estimar a variabilidade espacial é denominada semivariograma.

O semivariograma é um gráfico da variância de medidas de amostras pareadas, como uma função da distância entre elas. Tipicamente, todos os pares de amostras possíveis são examinados e agrupados dentro de classes de distâncias (“lags”) e de direções aproximadamente iguais (DEUTSCH; JOURNEL, 1998). O semivariograma fornece um meio de quantificar a

tendência comumente observada de amostras agrupadas possuírem valores mais aproximados do que amostras mais largamente separadas, sendo representados por modelos teóricos.

Os semivariogramas, segundo Oliver (1999), geralmente são limitados, ou seja, a curva que ilustra a semivariância atinge uma assíntota conhecida como patamar. Este momento registra a amplitude da correlação ou dependência espacial dos dados. Logo, pontos separados por distâncias menores que essa faixa são espacialmente correlacionados, mas aqueles separados por distâncias maiores que este alcance são independentes entre si. Quando a curva tem uma inclinação inicial acentuada, isso mostra que os dados são espacialmente dependentes. Por sua vez, uma inclinação mais suave, para um mesmo patamar de variação, expressa uma menor dependência espacial. Quando o semivariograma não apresenta uma curva inicialmente inclinada, ele representa uma situação onde não há dependência espacial aparente nos dados e, para parâmetros que apresentam continuidade, tais como os parâmetros do solo, isto usualmente significa que a amostragem falhou na tentativa de desvendar a variação presente para aquela escala de investigação.

Quando se calcula o semivariograma para os dados do experimento, este é chamado de semivariograma experimental, sendo que este semivariograma apresenta os pontos referentes aos valores da semivariância para cada distância estudada. Já os semivariogramas teóricos são semivariogramas pré-estabelecidos, que são ajustados aos semivariogramas experimentais.

Os semivariogramas, com seus modelos devidamente ajustados, são necessários para o processo de interpolação, onde são estimados dados em toda a superfície, entre todos os pontos amostrados no processo de interpolação (GREGO; VIEIRA, 2005).

Segundo Zimback (2001), que estudou a variabilidade espacial de atributos químicos do solo, a elaboração do mapa de fertilidade do solo para uma determinada área apresentou a dependência espacial no horizonte superficial de 1650m e para o horizonte subsuperficial de 1450m.

Rodrigues (2002), ao estudar alguns atributos químicos para um Latossolo Vermelho Distrófico, obteve através de semivariogramas alcances para M.O. de 130m, pH de 145m, V% de 357m, Ca de 400m, Mg de 686m e K de 386m.

Souza et al. (1997), em experimentos com citros, avaliaram a variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo através da coleta de uma amostra de solo em um ponto fixo sob a projeção da copa de cada planta, sendo que a matéria orgânica, cálcio, magnésio, Ca + Mg e soma de bases apresentaram dependência espacial de aproximadamente 59m.

2.4 Interpolação dos dados

Segundo Batista (2002), através da análise do variograma, se for verificada a dependência espacial, poderá estimar-se valores utilizando o procedimento de interpolação conhecido como Krigagem, sendo uma ferramenta muito eficiente para tal finalidade, pois estima valores em qualquer posição dentro do terreno, sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 2000; VICENTE, 2004) além disso usa um conjunto de técnicas de regressão linear para minimizar a variância da estimação.

Conforme Corá e Beraldo (2006), a krigagem é considerada como o método que proporciona maior confiabilidade na estimativa de valores em pontos sem amostragem e, conseqüentemente, maior precisão na elaboração de mapas.

Segundo Souza et al. (2004)(a), a krigagem usa a base de dados amostrais, assim como as propriedades do semivariograma obtido através de dados para a confecção de mapas de isolinhas, que permitem avaliar o comportamento de uma variável na região estudada. Mapas são fundamentais na agricultura de precisão, pois após processados têm a finalidade de buscar a aplicação correta e econômica de insumos (MACHADO et al., 2007).

A krigagem difere de outros métodos de interpolação devido aos pesos associados às diferentes amostras, levando em consideração as amostras vizinhas. (ASSUMPÇÃO et al., 2007).

Quando o conjunto de dados de um elemento não favorece a determinação dos parâmetros espaciais essenciais para a Krigagem, outros métodos de interpolação devem ser utilizados, como IDW (Inverso Ponderado da Distância) e o TIN (Triangulated Irregular Networks).

2.5 Mapas de Fertilidade

O mapa de fertilidade é elaborado a partir da coleta das amostras de solo no campo e, em geral, é confeccionado um mapa para cada uma das propriedades do solo (KUHAR, 1997) em geral, são utilizados para o planejamento das ações de correção de solo, sendo que quanto maior o número de dados coletados para a confecção deste mapa maior sua relação com a realidade no campo, no entanto, isso pode causar alguns problemas no processo de correção, como o custo elevado para analisar uma grande quantidade de amostras (GROENIGEN et al,

1999) ou mesmo a falta de equipamentos adequados que façam a distribuição de fertilizantes em taxa variável em áreas com muita variabilidade.

A partir do tamanho do grid de amostragem utilizado, pode-se gerar mapas em diferentes escalas, como o que foi utilizado por Reetz Junior. (2000) para a obtenção de mapas de Fósforo. Finke (1993) interpolou valores de Nitrogênio por krigagem, conseguindo estudar o comportamento do nutriente em diversos tipos de manejo.

Ao avaliar os mapas deve-se ter conhecimento do histórico e da situação da área tratada, tais como problemas de colheita, de plantio, estradas, entre outros. Para Kuhar (1997), um avaliador que não conhece nada deste histórico, poderia incorrer em uma má interpretação dos mapas

3. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na fazenda Água-Boa ($22^{\circ}24'S$, $56^{\circ}27'W$) a 8 km do município de Antonio João-MS, e está sob cultivo de plantio direto a mais de 10 anos. O relevo da área em estudo é suave ondulado. O clima na região é tropical de altitude úmido, com temperaturas variando entre as máximas de $25^{\circ}C$ a $35^{\circ}C$ e mínimas de $5^{\circ}C$ e $15^{\circ}C$. As precipitações pluviométricas têm a média mensal de 150 mm, situando-se entre 1.200 e 1.500 mm anuais e um período seco entre 15 de maio e 15 de agosto e período de chuvas de setembro a abril. Ocorrem geadas, ocasionais nos meses de junho e julho. (Wikipédia, 2016)

Foi elaborada na área uma grade regular, com pontos distantes 70 m, numa área de 78 ha para a coleta das amostras do solo. O georreferenciamento dos pontos de amostragem foi realizado utilizando um sistema de posicionamento global (GPS). Foram coletadas 153 amostras na área de estudo (Figura 1).

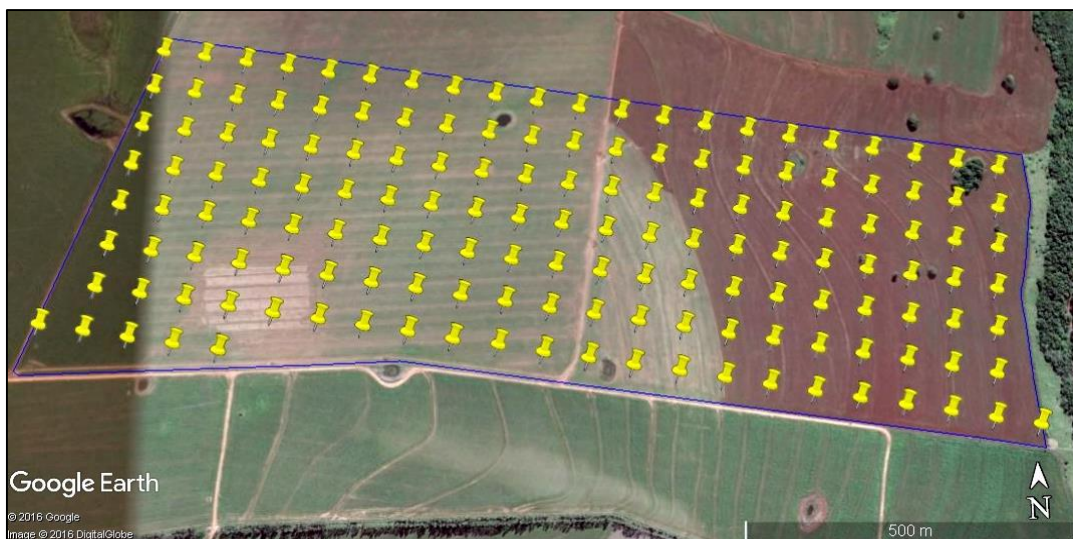


FIGURA 1. Área com os pontos de coletas georreferenciados

As amostras de solo deformadas foram coletadas com trado tipo Sonda com a camada de 0 – 20 cm, coletaram-se 9 sub amostras por ponto. A coleta foi realizada após a retirada de todo o resto da cultura e a porção superior da vegetação do solo, de forma a evitar a presença de raízes. A caracterização química do solo foi obtida conforme descrito em DONAGEMA (2011) e consistiu na determinação dos seguintes atributos Químicos: Cálcio (Ca); Potássio (K); Fósforo (P); Alumínio (AL); Magnésio (Mg); pH Cacl₂; pH H₂O.

Os dados antes de serem submetidos a análise geoestatística foram examinados através da análise exploratória, e seu objetivo foi identificar e eliminar valores discrepantes (outliers) do conjunto dos dados, pois eles têm grande influência sobre o semivariograma e, conseqüentemente, sobre o resultado da interpolação (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

A estatística descritiva foi usada para resumir os dados, tendo sido calculados o menor e maior valor, média, mediana, desvio padrão, coeficientes de variação de assimetria e curtose.

A análise geoestatística foi realizada pelo *Software* GS+ (GAMMA DESIGN, 2004), em duas etapas. Na primeira, avaliou-se a dependência espacial, por meio da modelagem dos semivariogramas empíricos de cada variável. Foram avaliados os modelos teóricos esférico, exponencial, circular e gaussiano (figura 2).

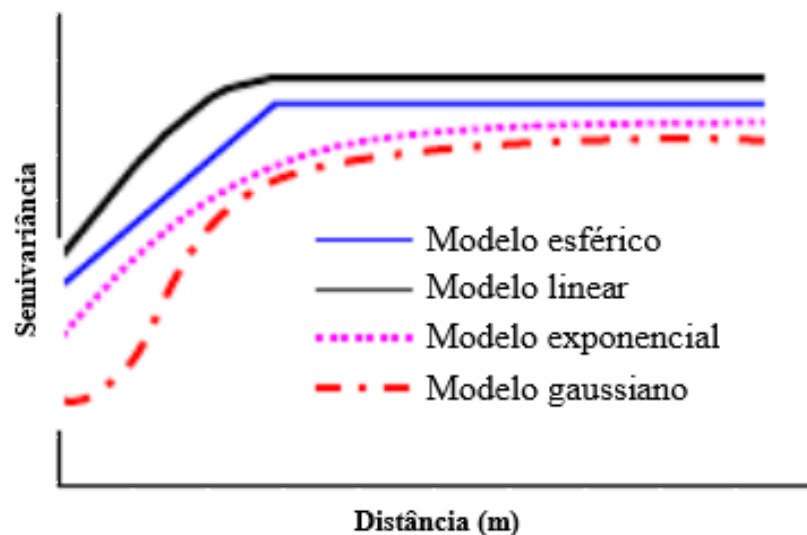


FIGURA 2. Modelos de semivariogramas com patamar (fonte: www.google.com.br)

O Modelo esférico é o mais facilmente encontrado nas aplicações da geoestatística, apresenta como característica o fato de que a tangente na origem da curva, atinge o patamar a uma distância correspondente a 2/3 da amplitude (a).

Modelo exponencial é outro modelo de transição comumente encontrado, tem como característica o fato de que o “range” é atingido quando o valor do semivariograma alcança

apenas assintoticamente, 95% do valor do patamar. De outra forma, a tangente na origem atinge o patamar a uma distância correspondente a 1/5 do “range”.

O Modelo Gaussiano tem bastante semelhança com o exponencial, principalmente no que se refere a forma como atinge o patamar e larga amplitude variográfica. Difere daquele quanto a seu comportamento parabólico na origem.

O Modelo Linear também denominado de efeito pepita puro, é característico de fenômenos de elevada aleatoriedade, considerando que há uma acentuada descontinuidade na origem do semivariograma. (ISAACS E SRIVASTAVA, 1989). Ocorre uma diferença significativa de valor entre pontos próximos, representando que pode haver uma provável regionalização inferior à escala de trabalho da malha de amostragem e/ou variações espúrias associadas com a coleta e medição das amostras (STURARO, 1988).

O ajuste dos modelos foi realizado por tentativa e erro e o critério usado para escolha dos modelos foram os parâmetros provenientes da validação cruzada (FARACO et al., 2008). A partir dos parâmetros de cada modelo escolhido foi calculado o índice de dependência espacial através da fórmula proposta por Cambardella et al. (1994).

$$GDE (\%) = \frac{C*100}{(C0+C)}$$

Em que : GDE = Grau de dependência espacial;

C = Efeito pepita;

C0+C = Patamar

Os resultados do GDE serão classificados da seguinte forma: dependência espacial fraca < 25%; dependência espacial moderada entre 25% e 75%; e dependência espacial forte quando o efeito pepita é > 75%.

Na segunda etapa da análise Geoestatística, para os casos nos quais ocorreu dependência espacial, foi feita a interpolação por krigagem ordinária e geração dos mapas de distribuição espacial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva para pH Cacl₂, pH H₂O, pH SMP, P, K, Al, Ca, Mg, H+Al, SB, T e V(%) são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de média, mediana, desvio-padrão, coeficiente de variação (CV), curtose, assimetria, valor máximo, valor mínimo dos atributos do solo e quantidade de amostras usadas para gerar a estatística de cada variável.

Estatística	Variáveis Químicas										
	pH Cacl ₂	pH H ₂ O	P	K	Al	Ca	Mg	H+AL	SB	T	V (%)
Média	4,86	5,59	12,33	0,25	0,29	2,49	1,19	3,53	3,93	7,33	52,96
Mediana	4,84	5,57	11,37	0,23	0,24	2,03	1,00	3,33	3,66	7,03	51,51
Mínimo	4,10	4,93	0,00	0,11	0,00	0,68	0,49	1,76	1,63	4,99	29,20
Máximo	5,96	6,54	27,06	0,50	0,96	5,66	2,55	5,72	7,94	11,75	84,80
Assimetria	0,46	0,46	0,24	0,71	0,58	0,91	0,80	0,49	0,93	0,61	0,43
Curtose	0,22	0,22	-0,74	-0,38	-0,65	0,05	-0,28	-0,48	0,36	-0,43	0,17
CV %	7,79	5,88	55,90	37,35	96,75	45,44	43,18	27,14	34,38	21,60	20,60
Desvio Padrão	0,38	0,33	6,89	0,09	0,28	1,13	0,52	0,96	1,35	1,58	10,91
Nº de amostras	150	150	126	152	150	144	149	149	147	143	153

P (mg dm⁻³); K(cmolc dm⁻³), Al(cmolc dm⁻³), Ca(cmolc dm⁻³), Mg(cmolc dm⁻³), H+Al(cmolc dm⁻³), SB(cmolc dm⁻³), T (cmolc dm⁻³); V(%).

Percebe-se que os valores da média e da mediana para os atributos estão próximos, determinando que estes dados seguem uma distribuição simétrica. Segundo Cambardella et al. (1994), os valores da média sendo próximos daqueles da mediana é um indicativo de que as medidas de tendência central são dominadas por valores típicos na distribuição.

O maior coeficiente de variação (CV) foi encontrado para o Al (96,75 %). Esse efeito se deve à grande variação dos teores desse nutriente na área amostrada. De acordo com Warrick e Nielsen (1980), as variáveis, pH Cacl₂ e pH H₂O apresentaram CV baixo (4,15 a 7,79%),

enquanto P, K, Ca, Mg, H + Al, Soma de bases, CTC total, e Saturação por base apresentaram CV médio (20,60 a 55,90 %).

Valores teóricos de assimetria e curtose de 0 e 3, respectivamente, indicam a normalidade dos dados (Tabela 1). A estimação por krigagem apresenta melhores resultados quando a normalidade dos dados é satisfeita (PAZ-GONZALEZ et al., 2001). Todas as variáveis apresentaram assimetria positiva, Isso mostra que os dados tende a apresentar distribuição normal, facilitando deste modo o ajuste dos semivariogramas.

Já o coeficiente de curtose representa a dispersão ou achatamento da distribuição em relação a um padrão, geralmente a curva normal. Se Curt. = 0, a distribuição é mesocúrtica, e possuem o mesmo achatamento que a distribuição normal; se Curt. < 0, a distribuição é platicúrtica então a função de distribuição é mais "achatada" que a distribuição normal; e se Curt. > 0, a distribuição é leptocúrtica então a distribuição em questão é mais alta (afunilada) e concentrada que a distribuição normal (SILVA *et al.*, 2010) conforme figura 3.

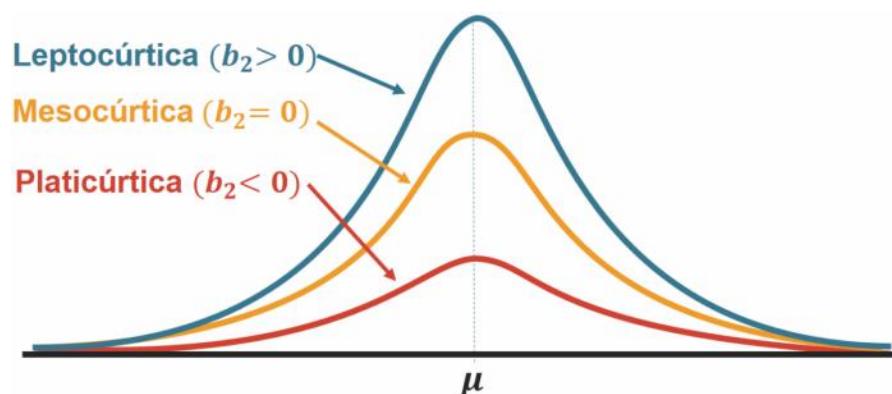


Figura 3. Classificação do coeficiente de curtose em relação a curva. (fonte: www.google.com)

Nesse estudo as variáveis pH CaCl₂, pH H₂O, Ca, Soma de bases e Saturação por bases apresentaram distribuição leptocúrtica, e as variáveis, P, K, Al, Mg, H+Al e T apresentaram distribuição platicúrtica.

Com a análise geoestatística realizada por meio de semivariogramas foi constatado que somente a variável P não apresenta dependência espacial na área ou seja apresentou um efeito pepita puro. Portanto, a variabilidade dessa variável pode ser considerada como aleatória e seria necessário um espaçamento menor na grade de amostragem para detectar dependência espacial dessa variável (CAMBARDELLA et al., 1994). (Tabela 2)

Tabela 2. Efeito pepita(Co), patamar(Co+C), alcance(Ao), Coeficiente de determinação(R²), relação efeito pepita/patamar, modelos dos semivariogramas ajustados aos dados experimentais, Grau de dependência espacial e sua classificação.

Parâmetros	Variáveis Químicas										
	PH CaCl ₂	PH H ₂ O	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V (%)
Co	0,026	0,020	43,765	0,004	0,032	0,001	0,042	0,526	0,102	0,139	66
Co + C	0,14	0,105	48,90	0,009	0,083	1,317	0,270	1,053	1,822	2,897	132,10
Ao	425	425	-	518	256	316	211	413	428	434	843
R²	0,975	0,975	0,351	0,962	0,957	0,976	0,882	0,818	0,973	0,955	0,860
[C/(Co+C) x 100]	81,2	81,2	-	58,7	61,3	99,9	84,4	50	94,4	95,2	50
Modelo	ESF	ESF	LIN	GAU	GAU	ESF	EXP	GAU	ESF	ESF	ESF
GDE (%)	81	81	-	59	61	100	84	50	94	95	50
Classificação	Forte	Forte	-	Mod.	Mod.	Forte	Forte	Mod.	Forte	Forte	Mod.

P (mg dm⁻³);K(cmolec dm⁻³), Al(cmolec dm⁻³), Ca(cmolec dm⁻³), Mg(cmolec dm⁻³), H+Al(cmolec dm⁻³), SB(cmolec dm⁻³), T (cmolec dm⁻³); V(%).

Quanto aos modelos teóricos usados para modelar a dependência espacial, o mais usado foi o Esférico (seis), seguido do gaussiano (quatro), exponencial (um). (Tabela 2)

O grau de dependência espacial (GDE) dos atributos do solo apresentou-se moderada para as seguintes variáveis pH SMP, K, Al, H+Al e V(%), e Forte para, pH CaCl₂, pH H₂O, Ca, Mg, SB, e T de acordo com Cambardella et al. (1994) (Tabela 2). Vale ressaltar que quanto maior o valor do GDE, melhor o semivariograma explica a variância dos dados.

Outro resultado importante dos semivariogramas são os valores do alcance, pois esse atributo indica a linha divisória entre a aplicação da Estatística Clássica ou da Geoestatística (VIEIRA, 2000) e deveria ser considerado em planos de amostragem (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010). O semivariograma da variável de Saturação por bases foi o que apresentou maior valor de alcance que o das demais variáveis avaliadas (tabela 2). Portanto, mediante a intenção de usar a Geoestatística para interpolar essa variável, a área precisaria de um número menor de amostras (ZANÃO JÚNIOR et. al., 2010). O alcance de um atributo garante que todos os vizinhos – dentro de um círculo com determinado raio – são tão similares que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles. O menor valor de alcance foi de 211 para o Mg, e o maior de 843, para a Saturação por bases.

Ainda com relação ao alcance, as diferenças observadas entre as variáveis, mostram o quanto esse parâmetro é importante no planejamento de um experimento, principalmente nos casos de aleatoriedade dos dados. Atributos que apresentam maior alcance de dependência espacial tendem a se apresentar mais homogêneos espacialmente. Por outro lado, baixos valores de alcance podem influir negativamente na qualidade das estimativas, uma vez que poucos pontos são usados para realização da interpolação (CORÁ et al., 2004).

Na figura 3 encontram-se os semivariogramas dos atributos químicos avaliados. Segundo McBratney e Webster (1983) e Souza et al. (1997), uma das principais utilizações dos semivariogramas é na determinação do número ideal de amostras para a estimação das características químicas do solo.

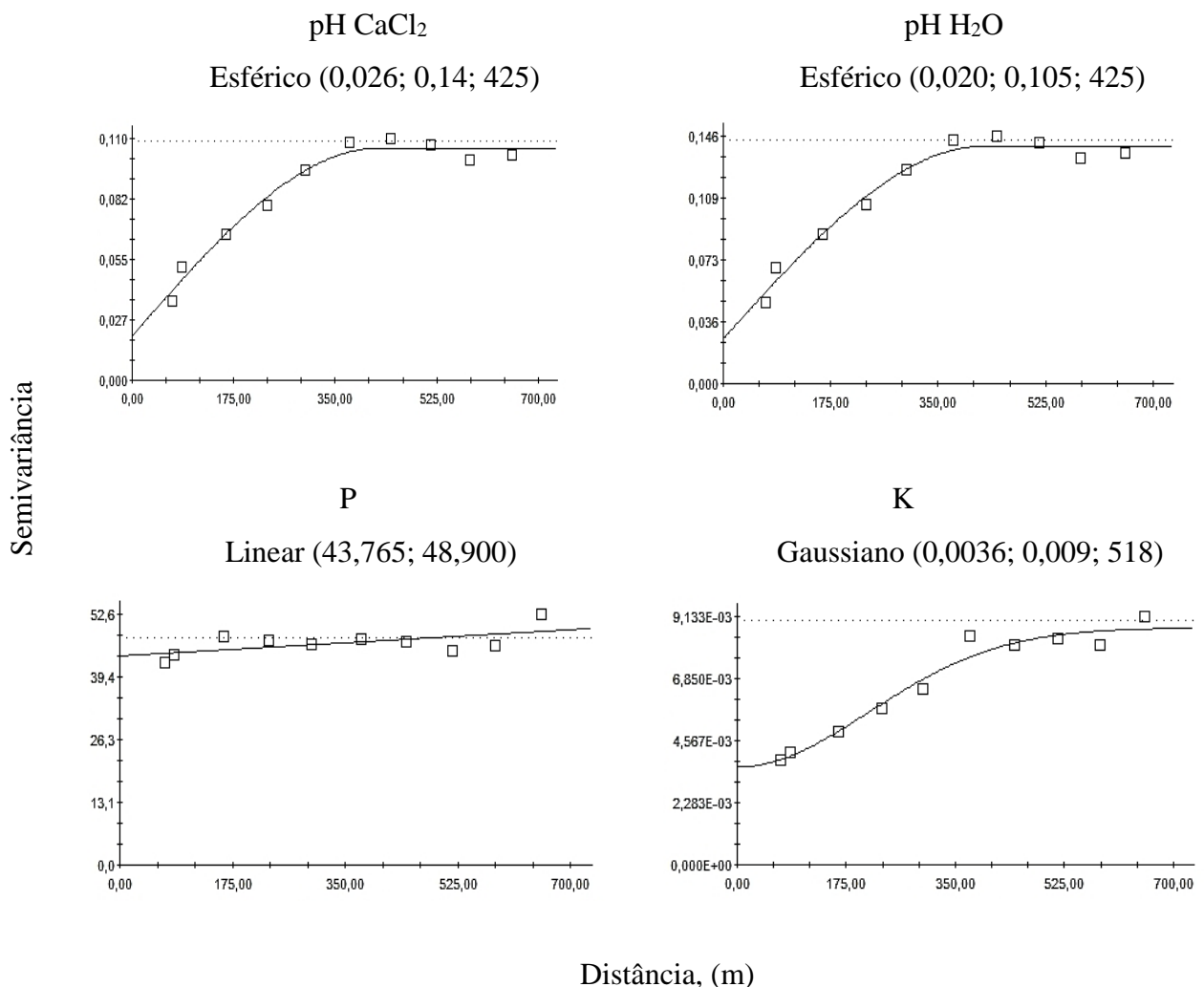


Figura 4a. Semivariogramas dos atributos químicos do solo (valores entre parênteses são respectivamente, efeito pepita, patamar e alcance, para todos os modelos dos semivariogramas, exceto para o modelo linear, o qual apresenta somente o efeito pepita e patamar).

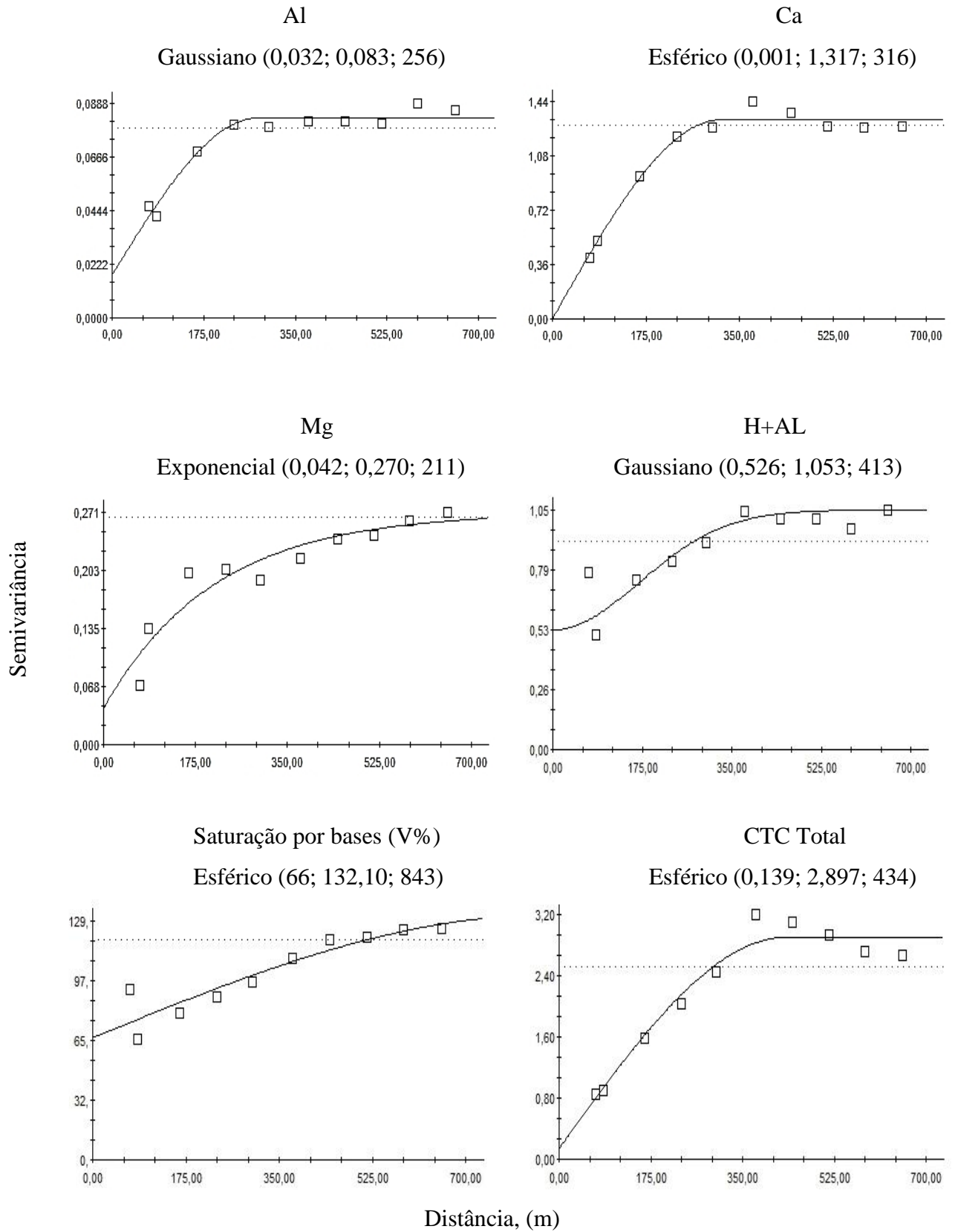


Figura 4b. Semivariogramas dos atributos químicos do solo (valores entre parênteses são, respectivamente, efeito pepita, patamar e alcance, para todos os modelos dos semivariogramas, exceto para o modelo linear, o qual apresenta somente o efeito pepita e o patamar).

Na figura 4 estão os mapeamentos dos atributos químicos do solo, obtidos pelo processo de krigagem, ferramenta essencial para se estabelecer o manejo ideal para cada nutriente.

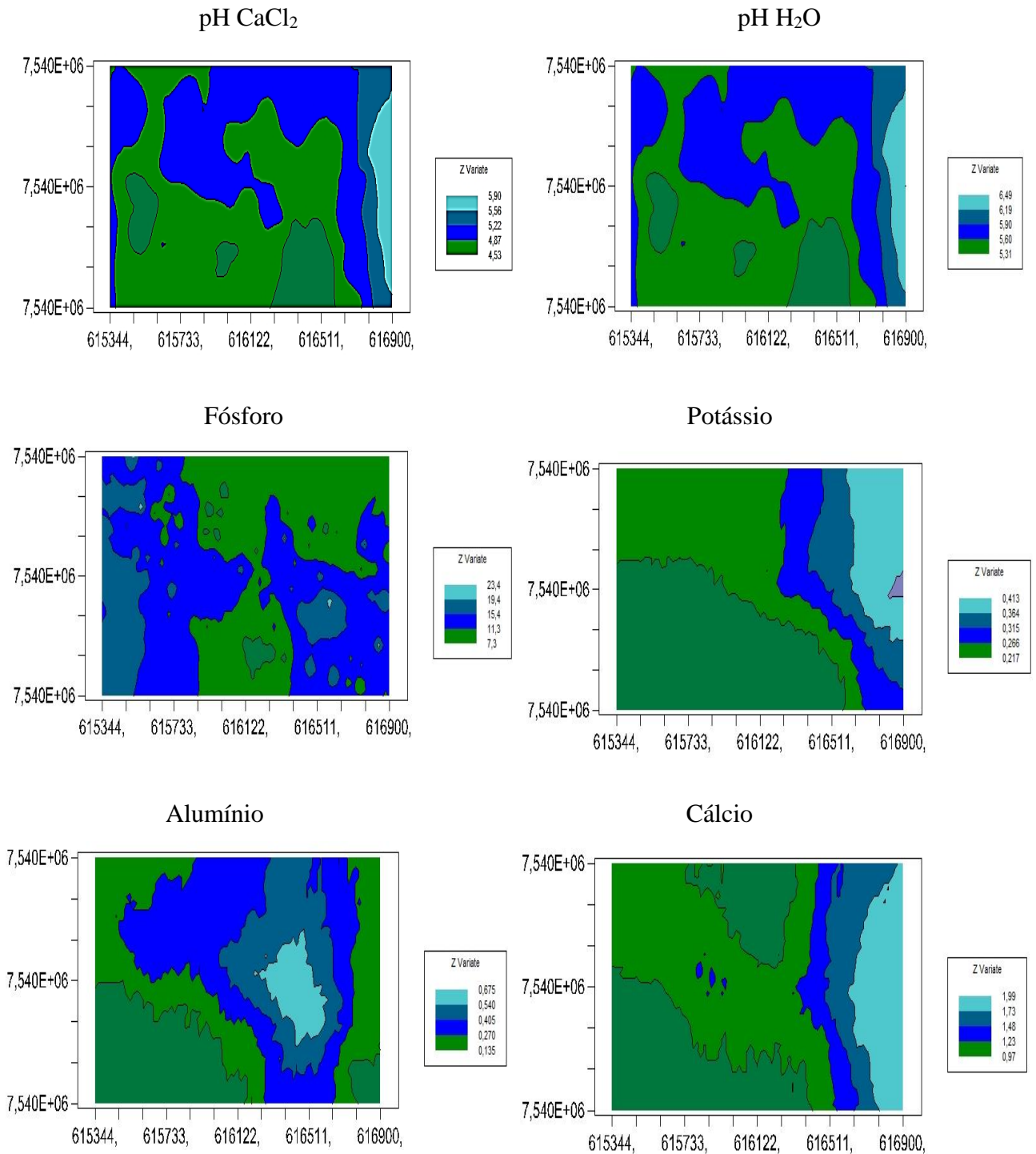


Figura 5a. Mapas de variabilidade espacial dos atributos químicos estudados

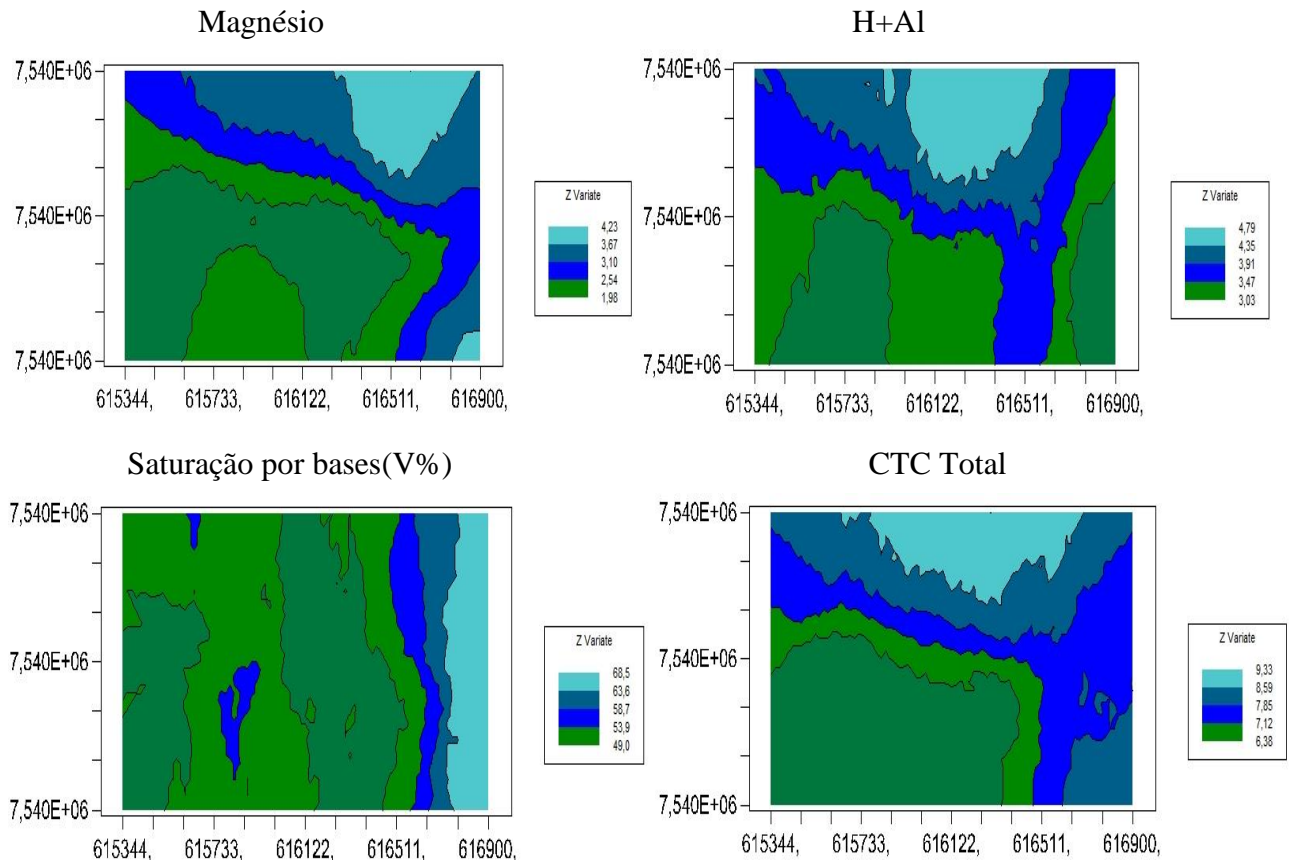


Figura 5b. Mapas de variabilidade espacial dos atributos químicos estudados

O produto final da krigagem é a superfície interpolada de cada variável, que mostra sua distribuição espacial. A partir dela é possível identificar a localização e a abrangência dos valores extremos, o grau de homogeneidade da área e as direções de maior gradiente. Além disso, ainda que de forma qualitativa, essas superfícies podem revelar se há algum padrão que sugira que a variável interpolada tenha correlação com outras variáveis, tais como declividade, altimetria, manejo, uso da terra etc.

Para a variável P, que não apresentou dependência espacial, foi utilizada a interpolação pelo método IDW (interpolação ponderada pelo inverso da distância)

Nesses mapas, pode-se visualizar na área amostrada a distribuição espacial de todos os atributos avaliados. A krigagem nada mais é que a interpolação das informações geradas pelo semivariograma.

Conforme citam GREGO e VIEIRA (2005), a construção de mapas, utilizando-se da krigagem, é importante para a verificação e a interpretação da variabilidade espacial, pois as informações visuais fornecidas pelos mapas servem de auxílio na tomada de decisões, em função das propriedades analisadas

5. CONCLUSÕES

As variáveis estudadas apresentaram estrutura de dependência espacial, o que permitiu o seu mapeamento, utilizando-se técnicas geoestatísticas.

O maior alcance registrado para os atributos em que se encontrou dependência espacial foi de 843 m, na variável Saturação por bases (V%), e o menor, de 211 m, para o Mg.

Para todos os atributos que apresentaram dependência espacial, esta foi classificada como moderada e forte.

A maioria dos dados se ajustou ao semivariograma de modelo esférico, seguido do gaussiano e do exponencial.

Os mapas de isolinhas forneceram uma boa visualização das variáveis em toda área.

Levando em considerações todas as variáveis e seus resultados, o solo da área estudada apresentou de boa a média fertilidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIRORIN, J. E. Variabilidade de solo e planta em Podzólico Vermelho-amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.20, p.151-157, 1996.

ANTÔNIO JOÃO. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2017. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Ant%C3%B4nio_Jo%C3%A3o&oldid=48077574> Acesso em: 21 fev. 2017.

ASSUMPÇÃO, R. A. B.; URIBE-OPAZO, M. A.; GODOY, E.; JOHANN, J. A. Uso da krigagem indicatriz na avaliação da probabilidade da produtividade de soja segundo os padrões regional, estadual e nacional. *Acta Scientiarum: Agronomy*, vol. 29, p. 165-171, 2007.

BATISTA I. F. Variabilidade espacial da umidade do solo em irrigação por gotejamento sob cultivo protegido. 113f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

BIFFI, L.J.; RAFAELI NETO, S. L. Comportamento espacial de variáveis agrônômicas da maçã ‘Fuji’ durante dois anos de observações no planalto serrano de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.30, n.4, p.975-980, 2008.

CAMARGO, E.C.G. Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (spring). Dissertação de Mestrado. São José dos Campos. INPE, 123p, 1997.

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 of America Journal*, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M. & PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 6, p. 1329- 1339, 2007.

CHUNG, C. K.; CHONG, S. K.; VARSA, E. C. Sampling strategies for fertility on a stoy silt loam soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol.26. n.5/6, p.741-763, 1995.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: NOVAIS, R.F et al. (Eds.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. vol.1, p.249-290, 2003.

CORÁ J.E, ARAÚJO 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*, 28:1013-1021. 2004.

- CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, vol.26, n.2, p.374-387, 2006.
- DEUTSCH, C.V., JOURNEL, A.G. *GSLIB: geostatistical software library*. New York: Oxford Univ. Press, 1998.
- DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). *Manual de métodos de análise de solos*. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- FARACO, M. A.; OPAZO, M. A. U.; SILVA, E. A. A.; JOHANN, J. A. & BORSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 2, p. 463-476, 2008.
- FERRAZ, G. A. E S.; SILVA, F. M.; CARVALHO, F. M.; COSTA, P. A. N.; CARVALHO, L. C. C. Viabilidade econômica do sistema de adubação diferenciado comparado ao sistema de adubação convencional em lavoura cafeeira: um estudo de caso. *Engenharia Agrícola*. vol.31, n.5, p. 906-915, 2011.
- FINKE, P.A. Field scale variability of soil structure and its impact on crop growth and nitrate leaching in the analysis of fertilizing scenarios. *Geoderma*, Amsterdam, v.60, p.89-107, 1993.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE (GS+). *Geostatistics for the environmental sciences*. 7. ed. Plain-well: Gamma Design, 2004.
- GREGO, C.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. vol.29, n.2, p. 169-177, 2005.
- GROENIGEN, van J.W.; SIDERIUS, W.; STEIN, A. Constrained optimisation of soil sampling for minimisation of the kriging variance. *Geoderma*. vol.87, n.3-4, p.239-259. 1999.
- GUIMARÃES, E. C. *Geoestatística básica e aplicada*. Universidade Federal de Uberlândia, . P. 78. vol. 1. 2004.
- GUPTA, R.P.; AGGARWAL, P.; CHAUHAN, A.S. Spatial variability analysis of bulk density as a guide for tillage. *Journal of Indian Society Soil Science*, New Delhi, v.43, n.4, p. 549-557, 1995.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 561 p. 1989
- KNOB, M. J. *Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em pequenas propriedades*. 2006. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, 2006.
- KUHAR, J.E. *The precision-farming guide for agriculturists*. Moline, 1997. 117 p.

LANDIM, P. M. B. Análise estatística de dados geológicos. São Paulo: Ed. Universidade Estadual Paulista., 253 p. 2003.

LIMA, J.S.S.; OLIVEIRA, R.B.; QUARTEZANI, W.Z. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob cultivo de pimenta-do-reino. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v.15, n.3, p.290-298, 2007.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S. SILVA, S. A. Amostragem e variabilidade espacial de tributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. Revista Árvore. vol.34, n.1, p. 127-136, 2010.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. Revista Brasileira de Ciência do Solo. vol.31, n.3, p. 591-599. 2007.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. Economic Geology, Littleton, v.58, n.8, p.1246-1266, 1963.

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? Soil Science, Baltimore, v. 135, n. 3, p. 177-183, 1983.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P.; GOES, S. L.; KORNDORFER, G. H.; SOARES, R. A. B.; LIMA, E. A. Estudo de caso sobre investimento agrícola: Oportunidades com agricultura de precisão. Revista ALCOOLbrás. São Paulo. Ed. Valete. n.95, p.78-95, 2005.

MIRANDA, N. O.; OLIVEIRA, T. S.; MEDEIROS, J. F. DE; SILVA, C. A. Variabilidade espacial da produtividade do meloeiro em áreas de cultivo fertirrigado. Horticultura Brasileira, v.23, n.2, p.260-265, 2005.

OLIVER, M.A. Exploring soil spatial variation geostatistically. In: EUROPEAN CONF. ON PRECISION AGRICULTURE, 2, 1999, Denmark. Anais... Denmark: IPAS, p.03-18. 1999.

PAZ-GONZALEZ, A.; TABOADA CASTRO, M. T.; VIEIRA, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, v. 81, p. 469-479, 2001.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Ceres, 343 p. 1991.

REETZ JR., H. F. Map making for variable rate fertilization. Better Crops, Athanta, v.84, n.2, p.18-20, 2000.

REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Campinas: Fundação Cargill, 445 p. 1985.

RODRIGUES, J.B.T. Variabilidade espacial e correlações entre atributos do solo e produtividade na agricultura de precisão. 2002. 116f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação da variabilidade espacial de atributos químicos de um solo do perímetro irrigado de Petrolina, PE. *Agropecuária Técnica*, v.27, p.5–12, 2006.

SILVA, S. A.; LIMA J.S.S; XAVIER, A.C.; TEIXEIRA, M.M. 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.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L. & FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SOUZA, E. G ; JOHANN, J. A.; OPAZO, M. A. U.; ROCHA, J. V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. vol.8, n.2-3, p. 212-219, 2004.

SOUZA, L.S.; COGO, N.P.; VIEIRA, S.R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.21, n.3, p.367-372, Jul-Set 1997.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob o cultivo da cana. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 937-944, 2004. (a)

SOUZA, Z.M.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T. & MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciencia Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1763-1771, 2004. (b)

STURARO, J.R. Estudo do comportamento espacial de variáveis geológicas e hidrogeológicas da área urbana de Ribeirão Preto-SP. 1988. 131 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. (orient. Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim).

TAKEDA, E.Y. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de uma associação de solos sob a videira (*Vitis vinifera*, L.) em Vitória Brasil-SP. 2000. 102f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Produção Vegetal) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

VICENTE, J. Estudo comparativo de métodos geoestatísticos aplicados em Agricultura de Precisão. 2004. 160f. Dissertação. Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente. 2004.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, P.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo V.1. p.1-54. 2000.

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, Academic Press, 1980. 350p.

ZANÃO JÚNIOR L. A; LANA, R. M. Q.; ZANÃO, M. P. C.; GUIMARÃES, E. D. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um latossolo em sistema de plantio direto. Revista Ceres, v. 57, n. 3, p. 429-438, 2010.

ZIMBACK, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001. Tese (Livre-Docência)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

