

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE UM NITOSSOLO
VERMELHO DISTRÓFICO DE BOTUCATU/SP**

CLEONISSE MACHADO DE MELLO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Março – 2001

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE UM NITOSSOLO
VERMELHO DISTRÓFICO DE BOTUCATU/SP**

CLEONISSE MACHADO DE MELLO

Orientador: Prof. Dr. Angelo Cataneo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Março – 2001

“O Senhor

com sabedoria fundou a Terra,

com inteligência estabeleceu os céus.

pelo seu conhecimento,

os abismos se romperam

e as nuvens destilaram orvalho.”

(provérbios 3:19-20)

Deus,

agradeço-lhe por ter conseguido realizar este trabalho.

Sei que ainda não fiz tudo o que esperas de mim,

peço-lhe, portanto, que me banhe a cada amanhecer

com seus raios de luz e continue me abençoando em minha jornada...

O amor não consiste

em duas pessoas olharem uma para a outra;

mas, olharem juntas na mesma direção.

Antoine Saint-Exupéry

*Ao meu esposo Nivaldo,
companheiro de todos os momentos,*

Ofereço

*Viver e não ter a vergonha de ser feliz.
Cantar e cantar e cantar a beleza de ser
um eterno aprendiz...*

Gonzaguinha

Aos meus filhos:

Juliana e João Alberto,

Carolina e Paulo Fernando

e Nivaldo,

Dedico

Amigo é coisa para se guardar

Do lado esquerdo do peito...

Milton Nascimento

Agradeço,

Ao curso de pós-graduação em Agronomia, área de concentração em energia na agricultura, pela oportunidade a mim concedida;

Ao Prof. Dr. Kleber Pereira Lanças, pelo apoio e compreensão;

Ao Prof. Dr. Angelo Cataneo, pela orientação e compreensão;

Ao Prof. Dr. Sérgio Hugo Benez, pelo apoio e incentivo;

Ao Prof. Dr. Sílvio José Bicudo, pelos ensinamentos e colaboração;

Ao Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães, pelos ensinamentos e sugestões;

À Prof. Dra. Célia Regina Lopes Zimback, pela colaboração e informação;

Enfim, meus agradecimentos sinceros a todos que de alguma maneira me ajudaram na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY.....	3
3. INTRODUÇÃO.....	5
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1. A estatística clássica.....	7
4.1.1. Média aritmética.....	8
4.1.2. Variância.....	9
4.1.3. Desvio Padrão.....	9
4.1.4. Coeficiente de Dispersão.....	10
4.1.5. Coeficiente de Assimetria.....	10
4.1.6. Coeficiente de curtose.....	11
4.2. A geoestatística.....	12
4.2.1. O semivariograma.....	14
4.2.1.1. Efeito Pepita.....	14
4.2.1.2. Patamar.....	14
4.2.1.3. Alcance.....	15
4.2.1.4. Efeito pepita puro.....	15
4.2.1.5. Ausência do patamar.....	15
4.2.1.6. Modelos dos Semivariogramas.....	16
4.2.1.6.1. Modelo Esférico.....	16

4.2.1.6.2. Modelo Exponencial.....	16
4.2.1.6.3. Modelo Gaussiano.....	17
4.2.1.6.4. Modelo Potência.....	17
4.3. A variabilidade das propriedades físicas e químicas do solo.....	18
4.4. Sistemas de preparo do solo.....	20
4.4.1. Sistema de plantio convencional.....	21
4.4.2. Sistema de plantio direto.....	21
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
5.1. Material.....	23
5.1.1. Área experimental.....	23
5.1.2. Caracterização da malha de pontos de coleta.....	24
5.2. Métodos.....	25
5.2.1. Metodologia de campo.....	25
5.2.2. Metodologia de laboratório.....	25
5.2.3. Análise Estatística.....	26
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
6.1. Análise descritiva clássica.....	29
6.2. Análise geoestatística.....	34
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
8. CONCLUSÕES.....	51
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Malhade Amostragem.....	24
2.	Semivariograma da densidade do solo na profundidade de 0-0,10 m no sistema plantio convencional.....	34
3.	Semivariograma da densidade do solo na profundidade de 0,10-0,20 m no sistema plantio convencional.....	35
4.	Semivariograma da densidade do solo na profundidade de 0-0,10 m no sistema plantio direto.....	35
5.	Semivariograma da densidade do solo na profundidade de 0,10-0,20 m no sistema plantio direto.....	36
6.	Semivariograma do pH do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema plantio convencional.....	37
7.	Semivariograma do pH do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema plantio convencional.....	38
8.	Semivariograma do pH do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema plantio direto.....	38
9.	Semivariograma do pH do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema plantio direto.....	39
10.	Semivariograma da matéria orgânica do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema plantio convencional.....	40

11.	Semivariograma da matéria orgânica do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema plantio convencional.....	41
12.	Semivariograma da matéria orgânica do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema plantio direto.....	41
13.	Semivariograma da matéria orgânica do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema plantio direto.....	42
14.	Semivariograma do fósforo do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema plantio convencional.....	43
15.	Semivariograma do fósforo do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema plantio convencional.....	44
16.	Semivariograma do fósforo do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema plantio direto.....	44
17.	Semivariograma do fósforo do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema plantio direto.....	45
18.	Semivariograma do potássio do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema plantio convencional.....	46
19.	Semivariograma do potássio do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema plantio convencional.....	47
20.	Semivariograma do potássio do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema plantio direto.....	47
21.	Semivariograma do potássio do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema plantio direto.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1.	Estimativas dos parâmetros estatísticos da variável densidade do solo (Kg/dm^3) nas profundidades 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m.....	29
2.	Estimativas dos parâmetros estatísticos da variável pH (CaCl_2) nas profundidades 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.....	30
3.	Estimativas dos parâmetros estatísticos para a variável matéria orgânica (g/Kg) nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.....	31
4.	Estimativas dos parâmetros estatísticos da variável fósforo (mg/dm^3) nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.....	31
5.	Estimativas dos parâmetros estatísticos da variável fósforo (mg/dm^3) nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m (com os dados transformados em seus logaritmos).....	32
6.	Estimativas dos parâmetros estatísticos da variável potássio (mmol/dm^3) nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m	32
7.	Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados da variável densidade do solo (Kg/dm^3) nas profundidades 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m.....	36
8.	Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados da variável pH solo (CaCl_2) nas profundidades 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m	39
9.	Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados da	

	variável teor de matéria orgânica (g/Kg^3) nas profundidades 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.....	42
10.	Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados da variável fósforo (mg/dm^3) nas profundidades 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.....	45
11.	Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados da variável potássio ($\text{mmol}_c/\text{dm}^3$) nas profundidades 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.....	48

1. RESUMO

O presente trabalho foi realizado na Fazenda Experimental Lageado, UNESP, no município de Botucatu, Estado de São Paulo, em solo classificado como Nitossolo Vermelho Distrófico, o qual permaneceu em pousio nos últimos quatro anos. Duas malhas de pontos de coleta foram instaladas, uma em área submetida ao sistema de plantio convencional e a outra ao sistema de plantio direto.

Objetivando fornecer subsídios para esquemas de amostragem e planejamento de experimentos de preparo do solo, foram avaliadas a variabilidade e dependência espacial das variáveis densidade do solo, pH, teores de matéria orgânica, fósforo e potássio. Os dados foram analisados de acordo com a estatística clássica e a geoestatística. Observou-se que a maior variabilidade foi para o fósforo e a menor para o pH. Pode-se verificar grau de dependência moderado no sistema de plantio convencional para as seguintes variáveis: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, com alcance entre 15m e 20m. No sistema plantio direto

observou-se grau de dependência moderado para as variáveis: densidade do solo na profundidade de 0 a 0,10 m, pH nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, teor de matéria orgânica nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m e potássio na profundidade de 0,20 a 0,40 m, com alcance de 15 m e 20 m. Não foi detectado dependência espacial no sistema de plantio convencional para a variável densidade nas profundidades 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m . Da mesma forma no sistema plantio direto para as variáveis: densidade na profundidade de 0,10 a 0,20 m, fósforo nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m e para o potássio na profundidade de 0 a 0,20 m, indicando uma distribuição aleatória ou seja independência espacial. Obteve-se maior número de semivariogramas com dependência espacial no sistema plantio direto.

Palavras chaves: variabilidade, dependência espacial, semivariograma.

**SPATIAL VARIABILITY OF SOIL ATTRIBUTE OF A NITOSSOLO
VERMELHO DISTRÓFICO (ULTISOL) LOCATED IN BOTUCATU / SP.**

Author: CLEONISSE MACHADO DE MELLO

Advisor: ANGELO CATANEO

2. SUMMARY

This study was carried out at the Experimental Farm Lageado, UNESP located, in the town district of Botucatu , São Paulo state whose soil is classified as Nitossolo Vermelho Distrófico (ULTISOL). This soil has been without human-hand plantation in the last four years. Two grids for samples collection were chosen, one in an area submitted with conventional tillage system and another with no-tillage system. In order to supply subsidies for sampling schemes and planning experiments, it was evaluated the variability and spatial dependence of variables such as: soil density, pH, organic matter content, phosphorus and potassium. The data were processed and analyzed in according to classic statistics and geostatistics. The highest variability was found for phosphorus and the lowest for pH. It was verified a moderate degree of dependence of some variables to conventional tillage system such as: pH, organic matter, phosphorus and potassium in the depths 0-0.20 m and 0.20 m-0.40 m, with spatial dependence between 15 and 20 m. In the no-tillage system it was found a moderate degree of dependence for variables such as: soil density in the depth 0-0.10 m, pH in the depths 0-0.20 m and 0.20-0.40 m, organic matter content in the depths 0-0.20 m and 0.20-

0.40 m and potassium in the depth 0.20-0.40 m, with spatial dependence between 15 and 20 m. There was no detected spatial dependence in the conventional tillage system on soil density (0-0.10 and 0.10-0.20 m depth). It happened similarly also for no-tillage system for the: soil density at the depth 0.10-0.20 m, phosphorus at the depth 0-0.20 m and 0.20-0.40 m and also for potassium at the depth 0-0.20 m. In this case, there is an indication of random distribution meaning spatial independence. Thus a greater number of semivariograms was obtained with the no-tillage system and spatial dependence.

Keywords: variability, spatial dependence, semivariograms.

3. INTRODUÇÃO

A produtividade agrícola é determinada por diversos fatores, porém os atributos do solo exercem papel de relevância em todo processo do crescimento da cultura. Estudos sobre a influência dos atributos físicos e químicos do solo na produção agrícola já foram realizados, no entanto, dificuldades ocorreram aos estudiosos do assunto quando depararam com a variabilidade espacial de atributos do solo e reconheceram que o conhecimento dessa é fundamental para que se possa descrever e compreender o comportamento de determinado atributo do solo.

A variabilidade espacial das características dos solos pode ocorrer em diferentes níveis. Elas podem estar relacionadas a diversos fatores: variação do material de origem, clima, relevo, organismos e tempo, ou seja, de processos genéticos de formação do solo e/ou efeitos de técnicas de manejo dos solos decorrentes de seus usos agrícola (McGraw, 1994).

O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo constitui importante meta, para que se possa empregar um manejo mais adequado, considerando a

aplicação de fertilizantes, estratégias de amostragem e planejamento de delineamento de pesquisa em campo (Bhatti et al., 1991).

O estudo da estrutura espacial de atributos introduz uma nova e importante dimensão nas análises da relação entre atributos de solo e produtividade de plantas (Miller et al., 1988).

Segundo os princípios básicos da experimentação, a variabilidade do solo ocorre de forma aleatória; no entanto, vários estudos relatam que a variabilidade dos atributos físicos e químicos do solo apresenta correlação ou dependência espacial (Reichardt, 1986; Upchurch & Edmonds, 1991; Souza, 1992).

A estatística clássica para ser aplicada exige a distribuição normal dos dados e a independência entre as observações, ao passo que a geoestatística considera a dependência espacial dentro do espaço amostral expressa no semivariograma.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a distribuição de frequência, a variabilidade e a dependência espacial de alguns atributos físicos e químicos de um nitossolo vermelho distrófico através de amostras regionalizadas e aplicação da estatística clássica e geoestatística, visando fornecer subsídios para o planejamento de próximos experimentos, principalmente nesta área.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. A estatística clássica

A estatística clássica está baseada na teoria das probabilidades, ou seja, nos estudos das variáveis aleatórias independentes.

Entende-se por variável aleatória aquela que pode tomar valores quaisquer em diferentes locais de observações mostrando desta forma uma determinada independência de um lugar para outro.

O que se pretende em qualquer trabalho estatístico é estudar qual distribuição teórica que melhor se ajuste à distribuição amostral, de tal modo que, a partir desta distribuição teórica, possam ser feitas deduções em relação à distribuição verdadeira.

Dentre as distribuições teóricas mais importantes destacam-se a distribuição normal e a distribuição lognormal.

Garcia (1988) relaciona os principais estimadores das distribuições de probabilidades:

4.1.1. Média aritmética (\bar{x})

O valor médio da característica em estudo μ pode ser obtido pela estimativa \bar{x} , dada pelo somatório de todos os valores de x (obtidos da amostragem) dividido pelo número total de amostras.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

onde: \bar{x} é a média das amostras, um estimador de μ .

Usando a distribuição de frequência tem-se:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^t f_i p m_i$$

onde:

t é o número total das classes

f_i é a frequência de ocorrência de cada classe

$p m_i$ é o ponto médio de cada classe

n é o número total de amostras

4.1.2. Variância (s_x^2)

A mais importante medida de dispersão estatística é a variância. Ela fornece uma noção de quanto disperso estão os valores de x_i em relação ao valor médio ou valor esperado.

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Utiliza-se o divisor n-1 porque se perde um grau de liberdade quando é estimado o valor médio.

Usando a distribuição de frequência:

$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^t f_i (pm_i)^2}{n}$$

4.1.3. Desvio Padrão (s_x)

O desvio padrão é definido como a raiz quadrada da variância e é usado para obter a dispersão ou variabilidade do valor médio estimado.

$$s_x = \sqrt{s_x^2}$$

4.1.4. Coeficiente de Variação (cv)

O coeficiente de dispersão ou coeficiente de variação indica o grau de variação dos dados.

$$cv = \frac{s_x}{\bar{x}} \times 100$$

4.1.5. Coeficiente de Assimetria (e_m)

O coeficiente de assimetria indica o grau da deformação, isto é, como e quanto a distribuição de freqüência se afasta da condição de simetria.

$$e_m = \frac{m_3}{s^3} \quad m_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3$$

onde:

m_3 momento de 3ª ordem centrado na média

s^3 é o cubo do desvio padrão

As distribuições são classificadas segundo a assimetria, conforme Snedecor & Cochran citado por Oliveira et al. (1999) da seguinte forma:

$e_m < 0$ distribuição assimétrica negativamente

$e_m = 0$ distribuição normal

$e_m > 0$ distribuição assimétrica positivamente

Takeda (2000) cita que geralmente para que uma assimetria seja considerada pronunciada é necessário que $|e_m| > 0,5$.

4.1.6. Coeficiente de curtose (k)

Coeficiente de curtose indica o grau de achatamento de uma distribuição em relação a uma distribuição normal.

onde:

$$k = \frac{m_4}{m_2^2} = \frac{m_4}{s^4} \quad m_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4$$

s^4 é o desvio padrão elevado à 4ª potência

Conforme Snedecor & Cochran, citado por Oliveira et al. (1999), as distribuições são classificadas segundo a curtose da seguinte forma:

$k < 3$ distribuição platicúrtica (distribuição mais achatada do que a normal)

$k = 3$ distribuição mesocúrtica (distribuição normal)

$k > 3$ distribuição leptocúrtica (distribuição menos achatada do que a normal)

Segundo Cassel & Bauer (1975) se a distribuição de frequência for diferente da normal deve-se realizar uma transformação de dados para a normalização e o uso da estatística clássica.

A distribuição lognormal caracteriza-se pelo fato dos logaritmos dos valores observados obedecerem à distribuição normal.

A análise exploratória dos dados feita através da estatística clássica é muito importante, porém, levar em conta a existência de correlações espaciais é imprescindível.

A presença de dependência espacial requer o uso de um tipo de estatística especial chamada geoestatística que surgiu na África do Sul, quando Krige, em 1951, trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia encontrar sentido nas variâncias, se não levasse em conta a distância entre as amostras. Matheron, em 1971, baseado nestas observações, desenvolveu uma teoria, a qual ele denominou Teoria das Variáveis Regionalizadas que contém os fundamentos da Geoestatística.

4.2. A geoestatística

Na teoria da variável regionalizada, a variável regionalizada $Z(x_i)$ pode ser considerada como uma variável aleatória que toma diferentes valores Z de acordo com a sua posição x_i dentro de uma região (Journel & Huijbrets, 1991).

Assim, a variável $Z(x_i)$ pode ser considerada como uma particular realização de uma variável aleatória Z para uma determinada posição x_i . Com uma única observação não é possível qualquer tipo de inferência. A fim de contornar tal impedimento de ordem prática, a análise pode prosseguir caso seja adotado alguma hipótese de estacionariedade (Sanches, 1999).

Neste trabalho adotaremos a denominada hipótese intrínseca que é uma estacionariedade dos incrementos:

a) $E[Z(x_i) - Z(x_i + h)] = 0$, ou seja a média deve ser constante para todo o espaço, não dependendo da posição de x ;

b) $E\{[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2\} = 2\gamma(h)$ é finita e depende somente de h .

O primeiro passo para aplicação da geoestatística é a construção do semivariograma, cuja definição é dada pela própria hipótese intrínseca:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2$$

em que x_i e $x_i + h$ indicam a localização de dois pontos da região em estudo separados por uma distância h .

Foi usado neste trabalho o estimador de Matheron, conhecido como método dos momentos, dado por:

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

onde:

h é a distância entre os pares de observações $(Z(x_i + h), Z(x_i))$

$N(h)$ é o número de pares possíveis na distância h .

4.2.1. O semivariograma

Isaaks & Srisvastava (1989), Journel & Huijbregts (1991), Vieira (1995) relacionaram o seguinte, a respeito do semivariograma:

4.2.1.1. Efeito Pepita (C_0)

Pela equação que define um semivariograma teríamos:

$$h = 0 \leftrightarrow \gamma(h) = 0$$

Porém, na prática, à medida que h tende para 0 (zero), $\gamma(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado efeito pepita (nugget effect) e recebe o símbolo de C_0 . Esse valor mostra a descontinuidade do semivariograma a distâncias menores do que a amostrada, que pode ser devida aos erros de medidas ou microvariação não detectada.

4.2.1.2. Patamar (C_0+C_1)

À medida que a distância h aumenta, a semivariância aumenta até um valor no qual se estabiliza, chamado patamar (sill) e recebe o símbolo C_0+C_1 e é uma estimativa sem tendências da variância populacional.

4.2.1.3. Alcance (a)

A distância onde a semivariância iguala-se ao patamar é denominado alcance e recebe o símbolo **a** e representa a distância máxima de autocorrelação espacial, ou seja, o raio de um círculo dentro do qual as medidas são correlacionadas umas com as outras. O alcance **a** é considerado o limite da dependência espacial e para distâncias maiores que **a**, aplica-se a estatística clássica, levando-se em conta apenas a hipótese de independência entre as amostras.

4.2.1.4. Efeito pepita puro

Quando o alcance **a** é menor que o espaçamento mínimo entre as amostras, tem-se o efeito pepita puro e a semivariância é igual para qualquer valor de **h**, isto porque a variável aleatória passa a ter distribuição não correlacionada, neste caso, estimativas e inferências podem ser realizadas pelos da estatística clássica.

4.2.1.5. Ausência do patamar

Quando o semivariograma apresenta um aumento sempre crescente da semivariância com a distância, não é possível determinar o alcance e o patamar, isto ocorre porque existe fenômeno com capacidade infinita de dispersão e a variância populacional não pode ser estimada.

Baseado na necessidade de representar graficamente os semivariogramas experimentais foram criados modelos teóricos que são classificados em modelos com patamar e modelos sem patamar.

4.2.1.6. Modelos dos Semivariogramas

Alguns modelos básicos usuais são descritos a seguir:

4.2.1.6.1. Modelo Esférico (esquema de Matheron) – tem um crescimento rápido na origem, tendo como expressão a seguinte equação:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h^3}{a^3} \right) \right] \quad \text{se } 0 \leq h \leq a$$
$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad \text{se } h \geq a$$

4.2.1.6.2. Modelo Exponencial (esquema de Formery) – tem comportamento linear na origem, tendo como equação:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - e^{-\frac{3h}{a}} \right] \quad \text{se } 0 \leq h \leq a$$
$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad \text{se } h > 0$$

4.2.1.6.3. Modelo Gaussiano (Esquema de Gauss) – apresenta um esquema parabólico na origem e tem por equação com patamar:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - e^{-\frac{3h^2}{a^2}} \right] \quad \text{se } 0 \leq h \leq a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1$$

4.2.1.6.4. Modelo Potência – caracteriza-se pela ausência de patamar e tem como equação:

$$\gamma(h) = C_0 + b h^\lambda \quad \text{se } h \geq 0$$

onde b é a inclinação na origem e

$$0 \leq \lambda \leq 2.$$

O modelo linear é um caso particular quando $\lambda = 1$.

O semivariograma é a representação gráfica do ajuste de modelos matemáticos, isto é, modelos teóricos aos dados observados; este ajuste é de grande importância quando se deseja fazer interpolações na área em estudo.

Clark citado por Guimarães (1993), sugeriu que este ajuste fosse feito pelo observador, tentando passar a curva o mais próximo possível de todos os pontos observados.

4.3. A variabilidade das variáveis físicas e químicas do solo

A preocupação com a variabilidade espacial de atributos do solo é expressa em diversos trabalhos de pesquisadores da área. O conhecimento desta é fundamental para que se possa descrever e compreender o comportamento de determinado atributo do solo. O mapeamento de tais atributos em uma região e a compreensão de sua estrutura de variabilidade podem auxiliar na definição de estratégias de manejo deste solo, de acordo com Ribeiro Júnior (1995).

Um dos pilares nos quais se sustenta o novo paradigma na agricultura (Agricultura de Precisão), é o conhecimento das causas de variabilidade dos atributos do solo.

Souza et al.(1998) estudando a variabilidade do fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a diferentes sistemas de manejo observaram que o plantio direto apresentou maiores coeficientes de variação e menores alcances de dependência espacial, assumindo-se ter ele maior variabilidade das variáveis analisadas que os demais sistemas.

Cavalcante (1999) estudou a variabilidade espacial de alguns atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho escuro argiloso em 04 áreas com diferentes usos e manejos. As condições de uso e manejo foram: vegetação de cerrado denso, culturas anuais sobre preparo do solo usando arado de discos e grade leve, cultura anual sob plantio direto e pastagem degradada. As amostras foram coletadas em 64 pontos dispostos em malhas com 02 metros de distância em diferentes profundidades. Os atributos físicos do solo avaliados foram a densidade do solo, a resistência à penetração e a umidade, e os atributos químicas foram o fósforo, a matéria orgânica, pH, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, (H+Al) e

alumínio. As maiores variabilidades encontradas foram para o alumínio e o potássio na pastagem degradada e as menores para o pH em todos os usos e manejos. A cultura anual sob o plantio direto apresentou o maior número de semivariogramas com correlação espacial, seguida pela vegetação de cerrado denso, enquanto que a pastagem degradada apresentou o menor número de semivariogramas com correlação espacial, seguida pela cultura anual sob preparo com arado de discos e grade leve. Concluiu-se que as práticas de manejo usadas interferiram na estrutura e na variabilidade natural do solo.

Sanches (1999) avaliou a variabilidade espacial dos atributos do solo e da produtividade do café em duas diferentes superfícies geomórficas (I e II). A maioria dos atributos do solo, na camada de 0 a 0,20 m da superfície I, apresentou dependência espacial, ao contrário da superfície II, que teve distribuição aleatória. Na camada de 0,60 a 0,80 m, a maioria das propriedades do solo apresentou dependência espacial em ambas as superfícies, refletindo a menor influência do manejo químico. A produção de café apresentou dependência espacial nas 02 superfícies, com alcance maior na superfície I, concordando com as propriedades do solo. A análise geoestatística dos dados deste experimento foi importante para determinar os limites entre superfícies geomórficas, que podem representar locais específicos de manejo do solo.

Takeda (2000) estudou a variabilidade espacial da macroporosidade (M), microporosidade (m), porosidade total (PT), densidade do solo (Ds), fósforo (P), matéria orgânica (MO), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio mais alumínio (H+Al), alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca (CT) e índice de saturação de bases (V%) em uma associação de solo Argiloso vermelho amarelo mais Argiloso vermelho distrófico. As amostras foram coletadas em 156 pontos em duas transeções com espaçamento

de 0,25m e 0,35m na profundidade de 0 a 0,10m. As maiores variabilidades foram verificadas para M, P, K, Ca, Mg, SB, CTC, dos quais, os quatro primeiros tiveram uma distribuição de freqüência do tipo lognormal, ao passo que os últimos do tipo tendendo ao lognormal. As menores variabilidades foram para a Ds, pH e V% que tiveram respectivamente a distribuição de freqüência do tipo normal, tendendo ao lognormal e tendendo ao normal. Os extremos do coeficiente de variação obtidos foram de 79,2% e 3,6% respectivamente para o pH e Mg. Todas as propriedades do solo estudadas apresentaram dependência espacial, assim classificada: forte dependência para o fósforo (P); moderada dependência para o m, M, PT, Ds, MO, pH, H+Al, K, Ca, Mg, SB e CTC; fraca dependência para V%. Em relação ao alcance da dependência espacial, os atributos físicos m, M, PT e DS tiveram valores entre 2,75m e 4,32m enquanto que os químicos H+Al, P, K, pH, Ca, V%, MO, SB, Mg e CTC variaram entre 1,82m e 5,64m.

4.4. Sistemas de preparo do solo

Segundo Henklain, citado por Silva (2000), a escolha de um determinado sistema de preparo do solo, deve levar em consideração: as respostas das culturas e do solo, visando diminuir perdas de solo por erosão; controle de plantas daninhas, aumentar a capacidade de retenção e movimentação de água; e a recuperação física do solo.

Neste trabalho cita-se apenas o sistema convencional e o sistema plantio direto.

4.4.1. Sistema de plantio convencional

Um dos sistemas de preparo do solo mais usado, ainda, no Brasil é o sistema convencional. Benez (1972) cita que a principal característica do preparo convencional é o alto grau de mobilização e desagregação a que o solo é submetido com o intuito de obter uma semeadura sem obstáculos, porém, possui o inconveniente de compactar o solo, destruir-lhe a estrutura, reduzir a infiltração, aumentar a erosão, fornecer o crescimento de plantas daninhas e, principalmente, proporcionar alto custo quando comparado aos sistemas de cultivo mínimo.

Wildner, citado por Greco (1999), recomenda utilizar o preparo convencional em áreas de topografias plana a ondulada, áreas recém desbravadas, comprimento de rampa curto, áreas com elevada quantidade de resíduos de culturas ou com alta incidência de ervas invasoras, na incorporação de corretivos, fertilizantes, adubos verdes e fazer uma rotação de sistemas de preparo de solo.

4.4.2. Sistema de plantio direto

Segundo Hernani e Salton, citado por Silva (2000), o sistema de plantio direto baseia-se em sistemas de rotação de culturas e caracteriza-se pelo cultivo em terreno coberto por palha e em ausência de preparo do solo, por tempo indeterminado. As semeadoras são específicas para o corte da palha, abertura de pequenos sulcos e deposição das sementes e adubos, as plantas daninhas são controladas quimicamente, de maneira a permitir a manutenção da cobertura morta sobre o solo em quantidade e qualidade adequadas.

Segundo Severo, citado por Greco (1999), o sistema plantio direto não é muito usado no Brasil devido a quatro fatores: falta de estudos mais detalhados sobre o uso em algumas regiões e sua aplicabilidade em algumas culturas; o desconhecimento que os produtores têm da tecnologia; a carência de recursos para que os agricultores possam implantar as novas técnicas.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Material

5.1.1. Área experimental

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu, no município de Botucatu, Estado de São Paulo.

A localização geográfica da área está definida nas coordenadas 22° 49' S e 48° 25' W, com altitude média de 770 metros, declividade média de 4,5% e exposição face oeste.

O solo da área experimental foi classificado segundo EMBRAPA (1999) como Nitossolo Vermelho Distrófico, tendo permanecido em pousio nos últimos quatro anos.

Quando do levantamento dos dados o solo encontrava-se recoberto com vegetação espontânea, constituída principalmente por nabiça, brachiaria, picão preto, entre outras.

Pelo sistema de Köppen de classificação, o clima da região foi classificado como subtropical chuvoso tipo cfa.

5.1.2. Caracterização da malha de pontos de coleta

O experimento foi instalado em duas áreas distintas, uma delas sobre o sistema convencional e a outra sobre o sistema de plantio direto.

Em cada área foram tomadas amostras sistemáticas em 55 pontos com espaçamento regular de 5 m na horizontal (sentido das linhas) e 4,5 m na vertical (sentido entrelinhas) como mostra a figura 1.

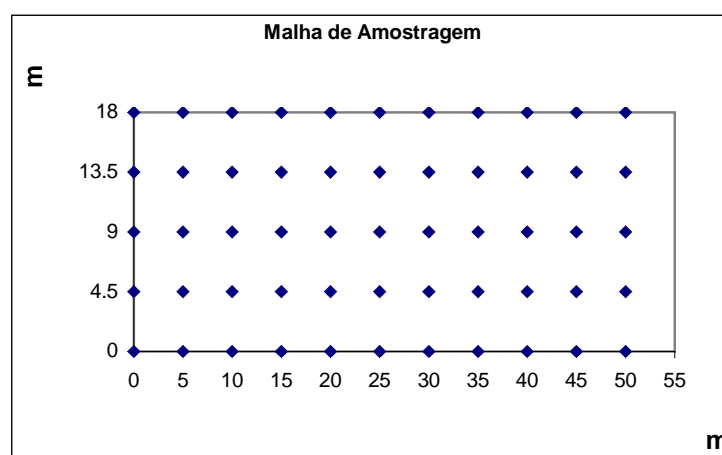


Figura 1 – Malha de Amostragem.

Os solos foram amostrados em duas profundidades de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m para análise física e de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m para análise química.

Os atributos do solo estudados foram:

- a) Atributo físico – densidade do solo (Ds)
- b) Atributos químicos – pH, matéria orgânica (MO), Fósforo (P) e Potássio (K).

5.2. Métodos

5.2.1. Metodologia de campo

Para a coleta de solo para a determinação da densidade do solo foram abertas trincheiras com 0,10 m de largura, 0,30 m de comprimento e 0,40 m de profundidade e com auxílio de espátulas foram removidos os torrões e a coleta para as análises químicas foram feitas com trado tipo caneca.

5.2.2. Metodologia de laboratório

A densidade do solo foi analisada no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Engenharia Rural de Botucatu, FCA / UNESP, pelo método do torrão parafinado, de acordo com a EMBRAPA (1979).

Os atributos químicos foram analisados no Laboratório de Fertilidade do solo do Departamento de Recursos Naturais – Área de Ciências do Solo, FCA / UNESP e a metodologia utilizada foi a de Raij & Quaggio (1983).

A metodologia utilizada para análise química foi a seguinte:

- pH: determinado potenciométricamente em solução de CaCl_2 0,01 M
- MO: o carbono orgânico foi determinado pelo método da combustão úmida, através da calorimetria.

A matéria orgânica foi obtida indiretamente através da seguinte expressão:

$$MO = C \times 1,724 \times 10$$

- P: o fósforo disponível no solo foi determinado através do método de extração da resina trocável de íons, dado em mg/dm^3 .
- K: o potássio disponível no solo foi determinado através do método de extração da resina trocável de íons, dado em mmol/dm^3 .

5.2.3. Análise Estatística

Primeiramente os dados foram analisados por meio de métodos da estatística descritiva clássica com a finalidade de avaliar:

- a variabilidade do solo, conforme Gomes (1984), que considera o coeficiente de variação baixo se inferior a 10 %, médio quando de 10 a 20 %, alto quando de 20 a 30 % e muito alto se superior a 30 %.

- *se a distribuição de freqüência dos dados segue a distribuição normal ou lognormal, conforme Snedecor & Cochran, citado por Oliveira et al. (1999), que consideram os valores do coeficiente de assimetria e de curtose de 0 e 3 respectivamente, em uma distribuição normal e em altos valores positivos do coeficiente de assimetria indica uma distribuição de freqüência com cauda mais alongada à direita da máxima freqüência, sendo que em geral, as variáveis que apresentam esse comportamento, tendem a uma distribuição lognormal. Ainda conforme os autores, quando o conjunto de dados não possui distribuição de freqüência rigorosamente simétrica, considera-se a assimetria como fraca quando o coeficiente de assimetria variar entre + 0,20 e - 0,20, e assimetria forte quando $|e_m| > 0,5$ conforme cita Takeda 2000.*

Foram realizadas as seguintes estatísticas descritivas: valor mínimo, valor máximo, média, mediana, desvio padrão, coeficientes de variação, assimetria e curtose.

Em seguida os dados foram analisados através da geoestatística com a finalidade de estudar a variabilidade espacial com a construção e modelagem de semivariogramas.

As semivariâncias foram estimadas por meio da expressão:

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

O método para ajuste do modelo teórico foi visual, conforme recomendação de Clark (1979).

Posteriormente, foi feita a validação cruzada para avaliar a qualidade do modelo através do programa computacional Geo-Eas, (Englund & Sparks).

Para calcular o grau de dependência foi utilizado o indicativo da dependência espacial (IDE) de Tranngmar citado em Takeda (2000).

$$IDE = \frac{\gamma(h)_{pepita}}{\gamma(h)_{total}} \times 100$$

onde: $\gamma(h)_{pepita}$ é a semivariância do efeito pepita e $\gamma(h)_{total}$ é a semivariância total ou patamar.

Para definir o grau de dependência espacial dessa variável aplicou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), onde são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita menor do que 25% do patamar, de dependência moderada quando o efeito pepita está entre 25 e 75% e de dependência espacial fraca quando o efeito pepita é maior do que 75 %.

Os programas computacionais utilizados foram:

- Geo-Eas (Englund & Sparks, 1988);
- Programa desenvolvido por Vieira et al. (1983).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Análise descritiva clássica

Os valores obtidos para o valor mínimo, valor máximo, média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose estão apresentados nos quadros de 1 a 6.

Quadro 1. Estimativas dos parâmetros estatísticos da variável densidade do solo (Kg/dm^3) nas profundidades 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m.

Profundidade	v. m.	v. M.	m.	md.	var.	dp.	cv.	ca.	cc
I - (0-0,10 m)	1,250	1,680	1,471	1,470	0,005	0,070	4,774	-	4,755
I - (0,10-0,20m)	1,160	1,660	1,427	1,430	0,008	0,088	6,185	-	4,356
II - (0-0,10 m)	1,260	1,670	1,478	1,470	0,005	0,072	4,851	0,090	4,006
II - (0,10-0,20m)	1,250	1,730	1,475	1,480	0,007	0,084	5,695	0,299	3,921

I – Sistema de plantio convencional
II – Sistema de plantio direto
v.m – valor mínimo
v.M – valor máximo
m - média
md - mediana
var - variância
d.p – desvio padrão
cv – coeficiente de variação
ca – coeficiente de assimetria
cc – coeficiente de curtose

No quadro 1 para a variável densidade do solo observou-se valores de coeficientes de variação em torno de 5% nas duas áreas e nas duas profundidades, indicando uma baixa variabilidade de acordo com a classificação de Gomes (1984). Também os valores dos coeficientes de assimetria ficaram entre -0,20 e +0,20 podendo assim dizer que os dados da variável densidade se aproximam de uma distribuição do tipo normal com forma leptocúrtica, segundo Senedecor & Coharan citado por Oliveira et al. (1999).

Quadro 2. Estimativas dos parâmetros estatísticos da variável pH (CaCl₂) nas profundidades 0 a 0,20 m e 0,40 a 0,20 m.

Profundidade	v. m.	v. M.	m.	md.	var.	dp.	cv.	ca.	cc
I - (0-0,20 m)	3,800	4,100	3,916	3,900	0,006	0,079	2,012	0,852	3,669
I - (0,20-0,40m)	3,700	4,300	3,953	3,900	0,015	0,122	3,074	0,718	3,675
II - (0-0,20 m)	3,800	4,200	3,938	3,900	0,012	0,108	2,742	0,442	2,568
II - (0,20-0,40m)	3,800	4,200	3,976	4,000	0,014	0,119	2,982	0,264	2,210

I – Sistema de plantio convencional
 II – Sistema de plantio direto
 v.m – valor mínimo
 v.M – valor máximo
 M - média
 Md - mediana
 var - variância
 d.p – desvio padrão
 cv – coeficiente de variação
 ca – coeficiente de assimetria
 cc – coeficiente de curtose

No quadro 2 os coeficientes de variação encontrados foram para o pH que tiveram valores variando em torno de 2,5%. Para o sistema de plantio convencional e para o sistema de plantio direto os dados seguiram a distribuição do tipo lognormal, com a forma leptocúrtica para o sistema de plantio convencional e com a forma platicúrtica para o sistema de plantio direto.

Quadro 3. Estimativas dos parâmetros estatísticos da variável matéria orgânica (g/Kg) nas profundidades 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.

Profundidade	v. m.	v. M.	m.	md.	Var.	Dp.	cv.	ca.	cc
I - (0-0,20 m)	15,000	23,000	18,148	18,000	3,223	1,795	9,892	0,092	2,822
I - (0,20-0,40m)	12,000	19,000	14,648	14,000	2,459	1,568	10,705	0,627	3,173
II - (0-0,20 m)	16,000	23,000	18,500	1,4700	2,443	1,563	8,449	0,688	3,031
II - (0,20-0,40m)	12,000	25,000	16,000	1,4800	4,000	2,000	12,500	1,628	8,963

I – Sistema de plantio convencional

var - variância

II – Sistema de plantio direto

d.p – desvio padrão

v.m – valor mínimo

cv – coeficiente de variação

v.M – valor máximo

ca – coeficiente de assimetria

M - média

cc – coeficiente de curtose

Md - mediana

No Quadro 3 para a variável matéria orgânica os valores dos coeficientes de variação apresentaram-se entre baixos e médios. Para o sistema de plantio convencional na profundidade de 0 a 0,20 m os dados tenderam para uma distribuição do tipo normal com a forma platicúrtica. Ainda no sistema de plantio convencional na profundidade de 0,20 a 0,40 m e no sistema de plantio direto nas duas profundidades os dados seguiram distribuição do tipo lognormal.

Quadro 4. Estimativas dos parâmetros estatísticos da variável fósforo (mg/dm³) nas profundidades 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.

Profundidade	v. m.	v. M.	m.	md.	var.	dp.	cv.	ca.	cc
I - (0-0,20 m)	3,000	104,00	11,273	7,000	337,943	18,383	163,077	4,174	19,418
I - (0,20-0,40m)	1,000	37,00	4,127	3,000	23,150	4,811	116,577	5,987	41,167
II - (0-0,20 m)	5,000	42,00	9,236	8,000	28,036	5,295	57,326	4,585	28,048
II - (0,20-0,40m)	0,000	33,00	3,927	4,000	17,958	4,238	107,903	5,991	41,834

I – Sistema de plantio convencional

var - variância

II – Sistema de plantio direto

d.p – desvio padrão

v.m – valor mínimo

cv – coeficiente de variação

v.M – valor máximo

ca – coeficiente de assimetria

M - média

cc – coeficiente de curtose

Md - mediana

No quadro 4 os coeficientes de variações encontrados foram para a variável fósforo com resina, com valores dos coeficientes variando entre 57,3% e 163,1%. A assimetria apresentou-se muito forte nos dois sistemas e nas profundidades estudadas, portanto os dados foram transformados nos seus logaritmos, conforme sugeriu Cassel & Bauer (1975), como mostra o quadro 5. Observou-se que mesmo assim a assimetria continuou forte.

Quadro 5. Estimativas dos parâmetros estatísticos da variável fósforo (mg/dm^3) nas profundidades 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m. (com os dados transformados em seus logaritmos)

Profundidade	v. m.	v. M.	m.	md.	var.	Dp.	cv.	ca.	cc
I - (0-0,20 m)	1,099	4,644	2,045	1,946	0,417	0,646	31,560	2,696	10,955
I - (0,20-0,40m)	0,000	3,611	1,211	1,099	0,282	0,531	43,846	1,721	9,283
II - (0-0,20 m)	1,609	3,738	2,142	2,079	0,128	0,357	16,679	1,912	8,901
II - (0,20-0,40m)	0,000	3,497	1,189	1,386	0,317	0,317	47,361	0,632	7,230

I – Sistema de plantio convencional
II – Sistema de plantio direto
v.m – valor mínimo
v.M – valor máximo
M - média
Md - mediana

var - variância
d.p – desvio padrão
cv – coeficiente de variação
ca – coeficiente de assimetria
cc – coeficiente de curtose

Quadro 6. Estimativas dos parâmetros estatísticos da variável potássio (mmol/dm^3) nas profundidades 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.

Profundidade	v. m.	v. M.	m.	md.	var.	Dp.	cv.	ca.	cc
I - (0-0,20 m)	1,300	3,900	2,298	2,200	0,337	0,581	25,268	0,411	2,873
I - (0,20-0,40m)	0,600	2,200	1,104	1,100	0,117	0,342	30,947	0,788	3,571
II - (0-0,20 m)	1,000	4,900	2,389	2,200	0,663	0,814	34,078	0,855	3,617
II - (0,20-0,40m)	0,500	3,100	1,482	1,400	0,317	0,563	38,000	0,749	3,291

I – Sistema de plantio convencional
II – Sistema de plantio direto
v.m – valor mínimo
v.M – valor máximo
M - média
Md - mediana

var - variância
d.p – desvio padrão
cv – coeficiente de variação
ca – coeficiente de assimetria
cc – coeficiente de curtose

No quadro 6 para a variável potássio o valor do coeficiente variou entre alto e muito alto e os dados seguiram uma distribuição do tipo lognormal. Somente para o sistema plantio direto na profundidade de 0 a 0,20 m apresentou forma platicúrtica e para os demais a forma leptocúrtica.

Nas situações em que se observou a distribuição do tipo lognormal os coeficientes de variação foram entre médios e altos e em contrapartida quando os dados tenderam para uma distribuição do tipo normal os coeficientes de variação foram baixos.

Os resultados obtidos e expressos nos quadros de 1 a 6 assemelham-se aos resultados obtidos por Cavalcante (1999) e Takeda (2000).

6.2 Análise geoestatística

Nas figuras de 2 a 21 estão representados os semivariogramas das variáveis em estudo, onde foram ajustados o melhor modelo matemático, podendo se notar que as curvas passam o mais próximo possível dos pontos observados, conforme sugeriu Clark, citado por Guimarães (1993).

Para avaliar a dependência espacial da variável densidade ajustou-se semivariogramas experimentais que estão apresentados nas figuras de 2 a 5, e os resultados das estimativas dos parâmetros estão relatados no quadro 7.

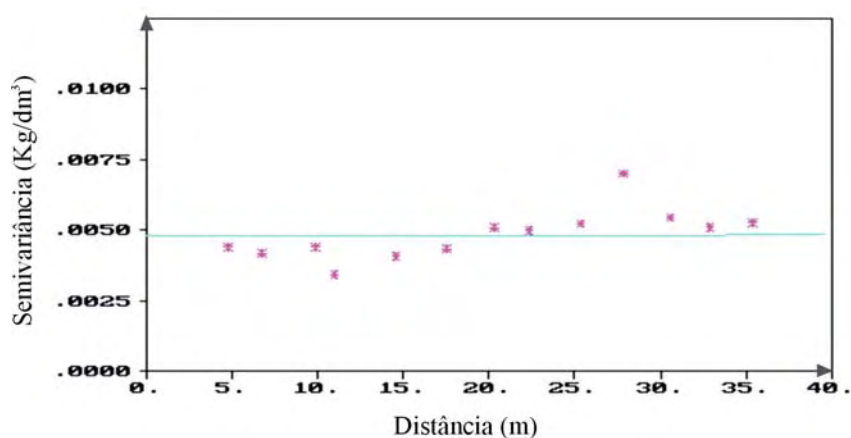


Figura 2 – Semivariograma da densidade do solo na profundidade de 0-0,10 m no sistema de plantio convencional. (* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

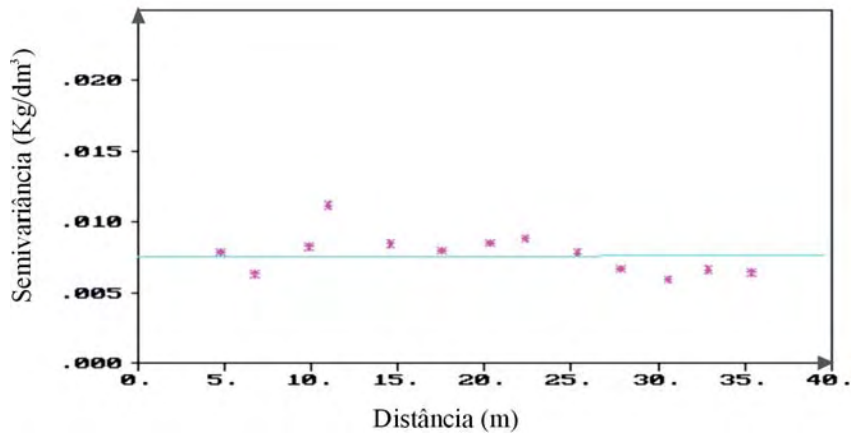


Figura 3 – Semivariograma da densidade do solo na profundidade de 0,10-0,20 m no sistema de plantio convencional. (* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

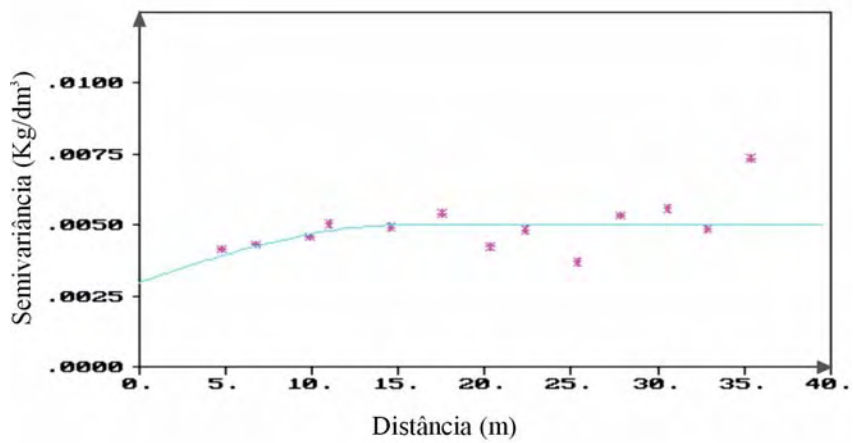


Figura 4 – Semivariograma da densidade do solo na profundidade de 0-0,10 m no sistema de plantio direto.
(* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

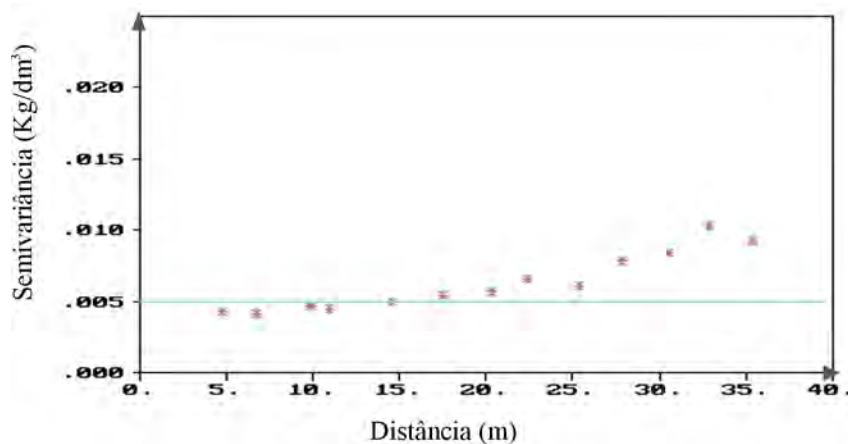


Figura 5 - Semivariograma da densidade do solo na profundidade de 0,10-0,20 m no sistema de plantio direto.
(* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

Quadro 7. Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados da variável densidade do solo (g/cm^3) nas profundidades 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m.

Profundidade	C_0	C_0+C_1	Alcance (metros)	Modelo
I - (0-0,10 m)	0,0048	-	-	Efeito pepita puro
I - (0,10-0,20 m)	0,0076	-	-	Efeito pepita puro
II - (0-0,10 m)	0,0030	0,0052	15	Esférico
II - (0,10-0,20 m)	0,0069	-	-	Efeito pepita puro

I – Sistema de plantio convencional

II – Sistema de plantio direto

C_0 – efeito pepita

C_0+C_1 – patamar

No quadro 7 observou-se que os semivariogramas para a densidade do solo revelaram a presença de dependência espacial apenas para a área que foi submetida ao plantio direto na profundidade de 0 a 0,10 m, com grau de dependência (57,7%) moderado e para o sistema plantio direto na profundidade 0,10 a 0,20 m e para o sistema de plantio convencional nas duas profundidades os dados apresentaram distribuição aleatória e ajustou-se

melhor ao modelo efeito pepita puro (modelo linear) porque o valor C_0 (efeito pepita) se aproximou muito do valor da variância total das amostra.

Nas figuras de 6 a 9 estão apresentados os semivariogramas experimentais da variável pH e os resultados das estimativas dos parâmetros estão no quadro 8.

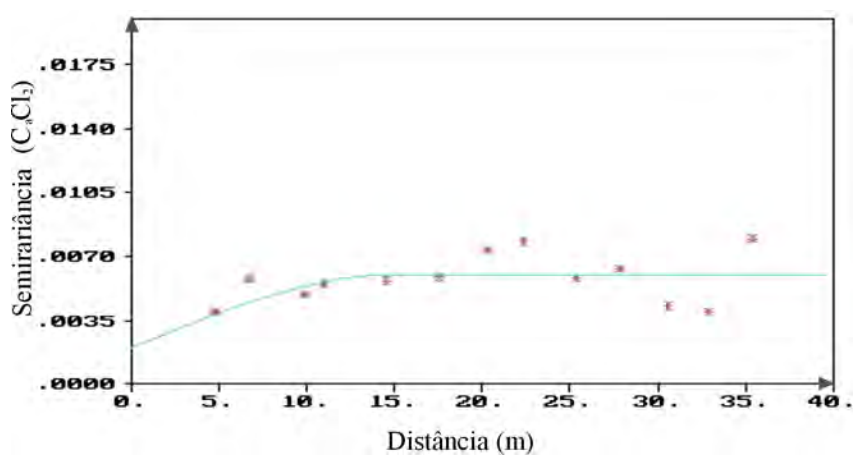


Figura 6 - Semivariograma do pH do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema de plantio convencional. (* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

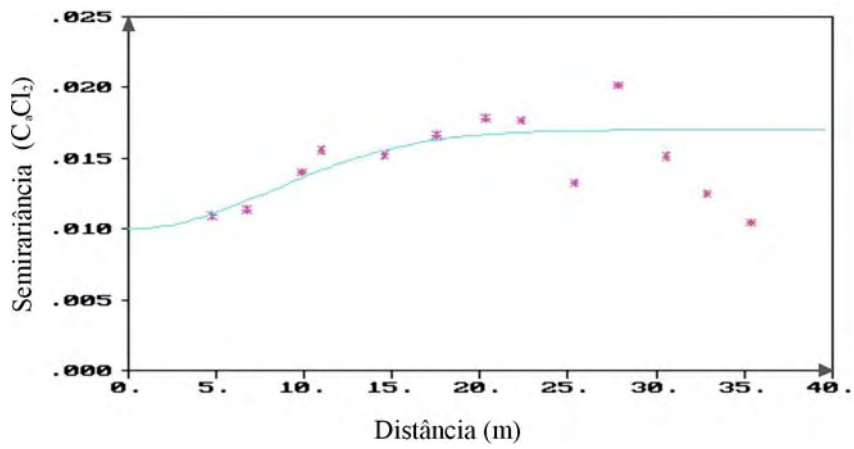


Figura 7 – Semivariograma do pH do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema de plantio convencional. (* semivariograma experimental, — modelo ajustado).

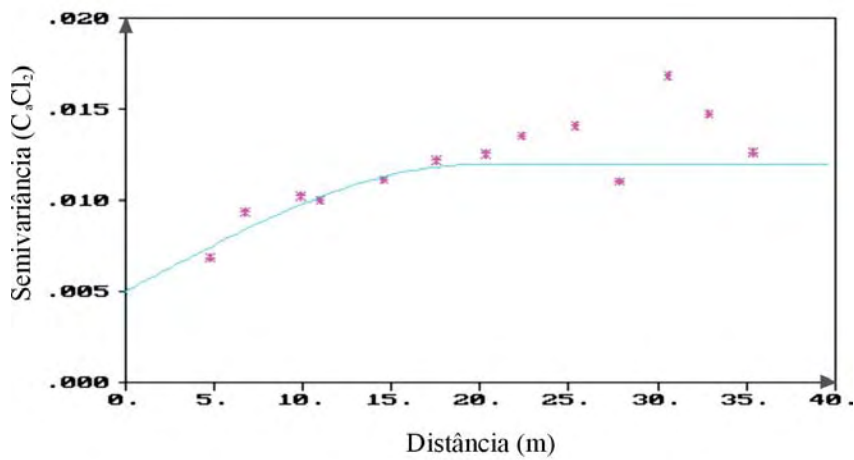


Figura 8 – Semivariograma do pH do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema de plantio direto. (* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

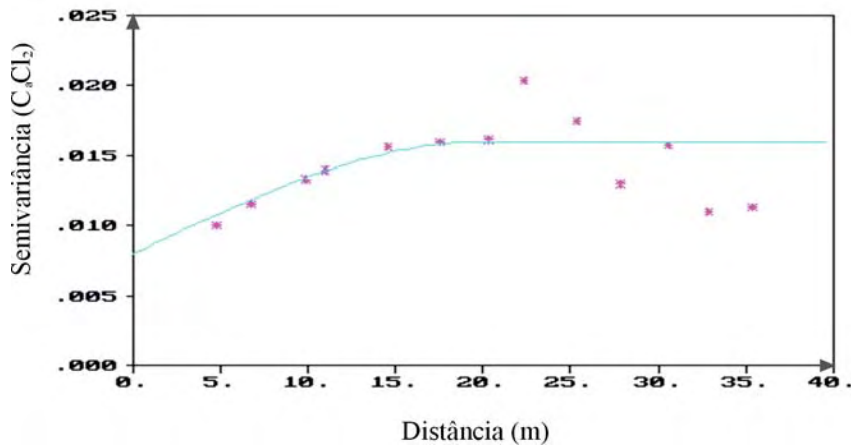


Figura 9 – Semivariograma do pH do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema de plantio direto. (* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

Quadro 8. Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados da variável pH solo (CaCl₂) nas profundidades 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m .

Profundidade	Co	Co+C ₁	Alcance (metros)	Modelo
I - (0-0,20 m)	0,0020	0,0065	15	Esférico
I - (0,20-0,40 m)	0,0100	0,017	20	Gaussiano
II - (0-0,20 m)	0,0050	0,012	20	Esférico
II - (0,20-0,40 m)	0,0080	0,016	20	Esférico

I – Sistema de plantio convencional

II – Sistema de plantio direto

Co – efeito pepita

Co+C₁- patamar

Para o pH ajustou-se semivariogramas nos dois sistemas e nas duas profundidades, sendo que apenas para o sistema convencional na profundidade 0,20 a 0,40 m ajustou-se melhor o modelo gaussiano os demais foram para o modelo esférico como estão apresentados no quadro 8. O grau de dependência foi moderado para os dois sistemas de plantio, pois para o sistema de plantio convencional nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m e no sistema de plantio direto nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m obteve-se grau de dependência 30,8; 58,8; 41,7 e 50,0% respectivamente.

Nas figuras de 10 a 13 estão os semivariogramas da variável matéria orgânica e no quadro 9 as estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados.

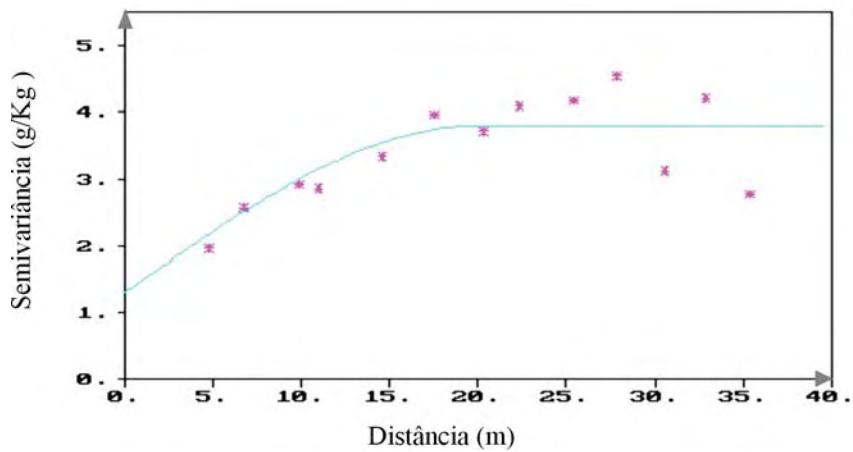


Figura 10 – Semivariograma da matéria orgânica do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema de plantio convencional. (* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

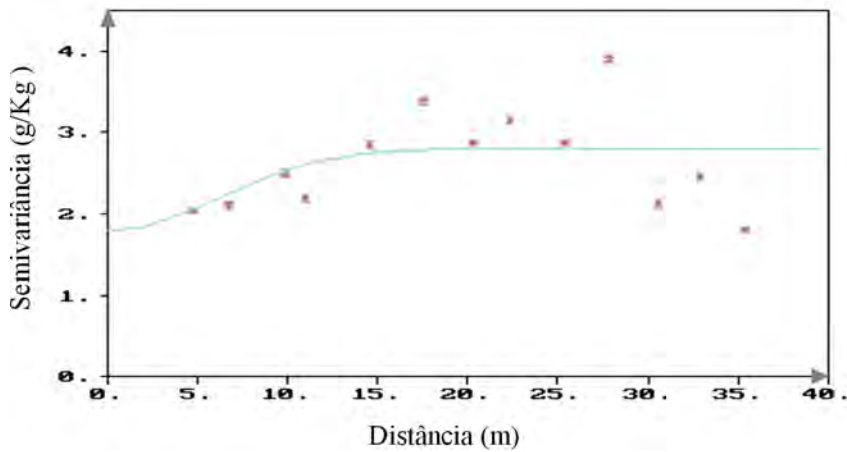


Figura 11 – Semivariograma da matéria orgânica do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema de plantio convencional. (* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

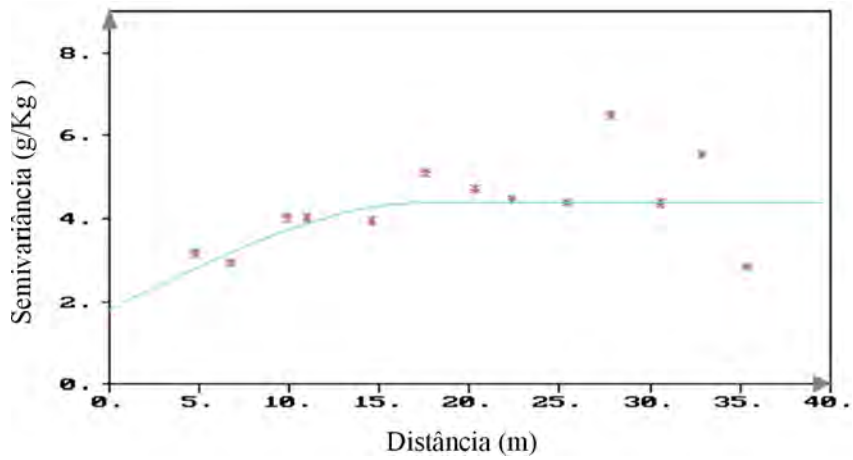


Figura 12 – Semivariograma da matéria orgânica do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema de plantio direto.
 (* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

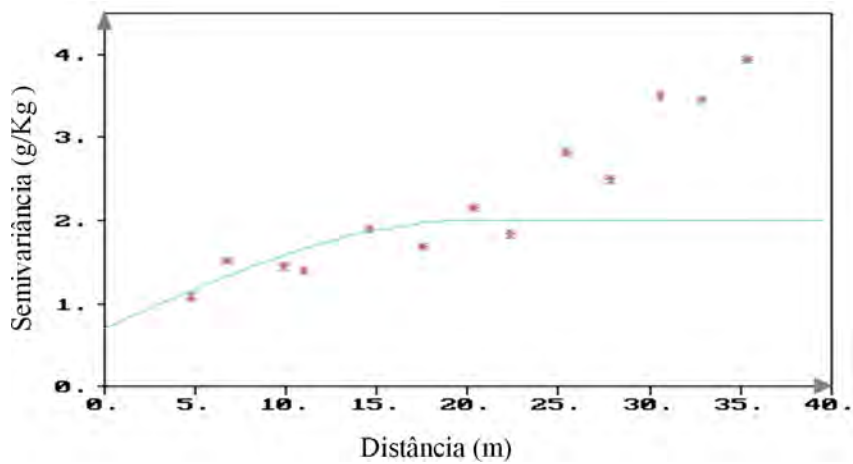


Figura 13 – Semivariograma da matéria orgânica do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema de plantio direto.
 (* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

Quadro 9. Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados da variável teor de matéria orgânica (g/Kg) nas profundidades 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.

Profundidade	Co	Co+C ₁	Alcance (metros)	Modelo
I - (0-0,20m)	1,3000	3,8000	20	Esférico
I - (0,20-0,40 m)	1,8000	2,8000	15	Gaussiano
II - (0-0,20 m)	1,8000	2,0000	20	Esférico
II - (0,20-0,40 m)	0,7000	4,4000	18	Esférico

I – Sistema de plantio convencional

II – Sistema de plantio direto

Co – efeito pepita

Co+C₁- patamar

Os semivariogramas para a matéria orgânica apresentaram dependência espacial nos dois sistemas de plantio nas duas profundidades. Foi ajustado o modelo gaussiano para o sistema convencional na profundidade de 0,20 a 0,40 m e os demais foram o modelo esférico como mostra o quadro 9. O grau de dependência foi moderado para os dois sistemas de plantio, pois para o sistema convencional na profundidade de 0 a 0,20 m e de 0,20 a 0,40 m e para o sistema de plantio direto nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m tiveram grau de dependência 34,2; 64,3; 35,0 e 40,9% respectivamente.

Os semivariogramas experimentais da variável fósforo estão representados, com os dados transformados em seus logaritmos, nas figuras de 14 a 17 e as estimativas dos parâmetros dos modelos no quadro 10.

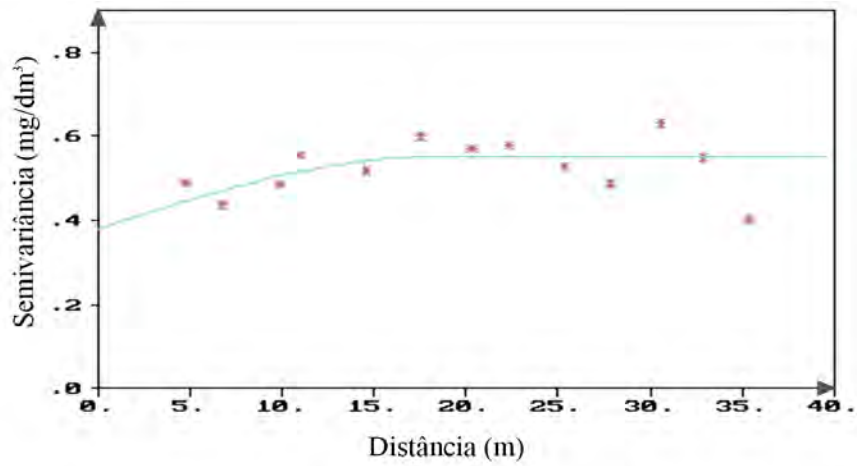


Figura 14 – Semivariograma do fósforo do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema de plantio convencional.
 (* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

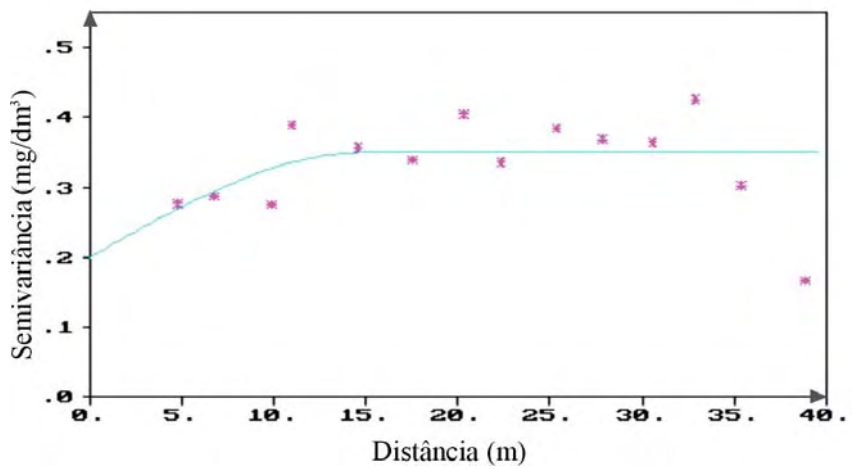


Figura 15 – Semivariograma do fósforo do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema de plantio convencional.
 (* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

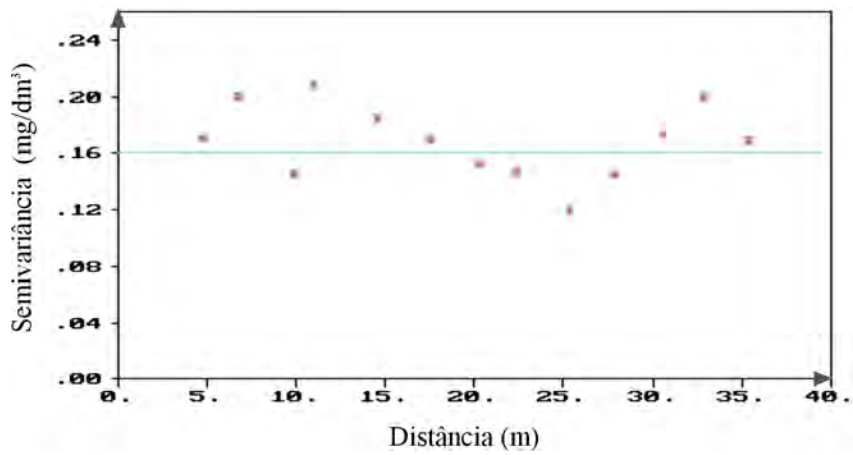


Figura 16 - Semivariograma do fósforo do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema de plantio direto.
 (* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

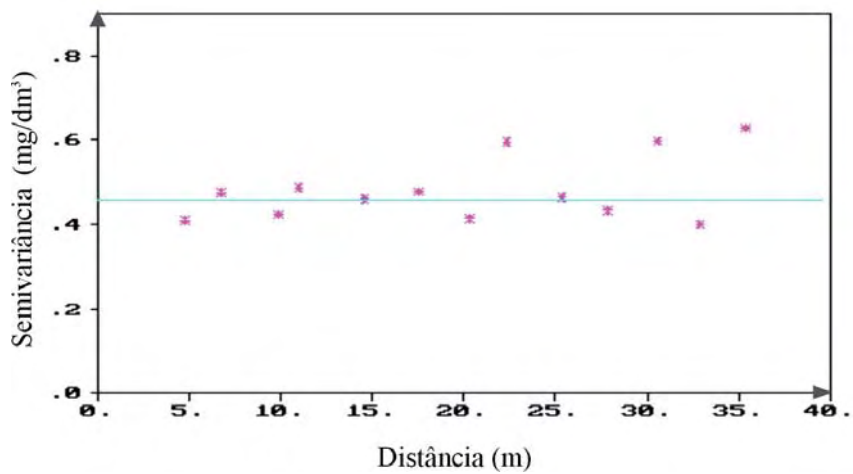


Figura 17 – Semivariograma do fósforo do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema de plantio direto.
 (* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

Quadro 10. Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados da variável fósforo (mg/dm^3) nas profundidades 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m .

Profundidade	Co	Co+C ₁	Alcance (metros)	Modelo
I - (0-0,20 m)	0,3800	0,5500	18	Esférico
I - (0,20-0,40 m)	0,2300	0,3500	15	Esférico
II - (0-0,20 m)	0,1600	-	-	Efeito pepita puro
II - (0,20-0,40 m)	0,4600	-	-	Efeito pepita puro

I – Sistema de plantio convencional

II – Sistema de plantio direto

Co – efeito pepita

Co+C₁- patamar

Para o fósforo depois dos dados transformados em seus logaritmos foi ajustado no sistema plantio convencional nas duas profundidades o modelo esférico, com grau de dependência (69,0 e 65,7% respectivamente) moderado. Para o sistema plantio direto ocorreu distribuição aleatória nas duas profundidades, como mostra o quadro 10.

Encontram-se apresentados nas figuras de 18 a 21 os semivariogramas experimentais da variável potássio e no quadro 11 as estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados.

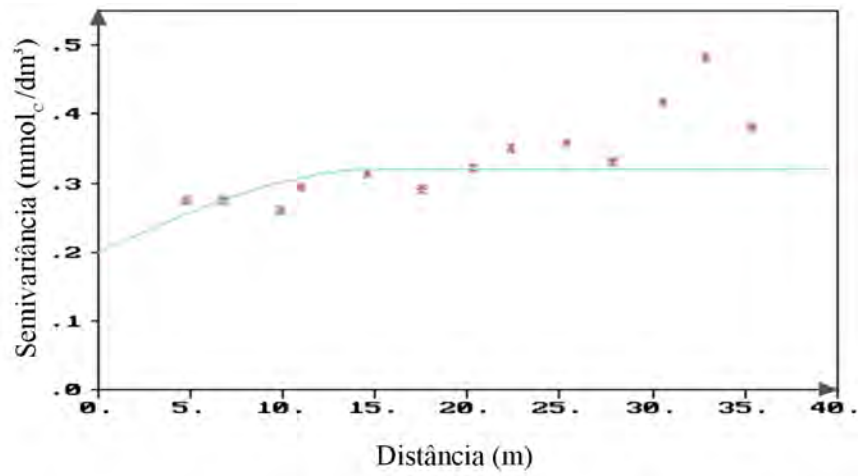


Figura 18 - Semivariograma do potássio do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema de plantio convencional. (* semivariograma experimental, — modelo ajustado).

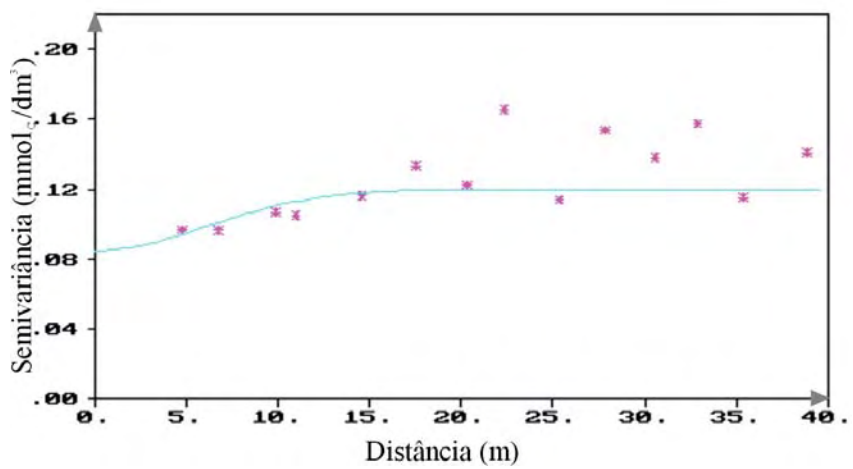


Figura 19 - Semivariograma do potássio do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema de plantio convencional. (* semivariograma experimental, — modelo ajustado).

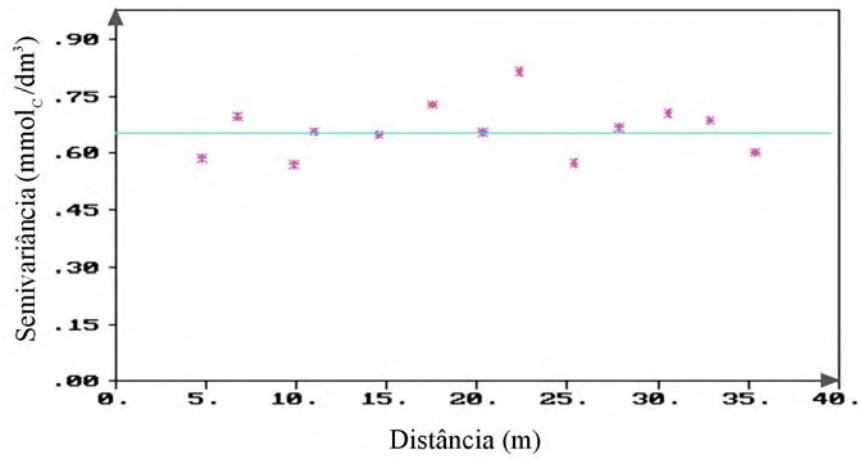


Figura 20 – Semivariograma do potássio do solo na profundidade de 0-0,20 m no sistema de plantio direto.
 (* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

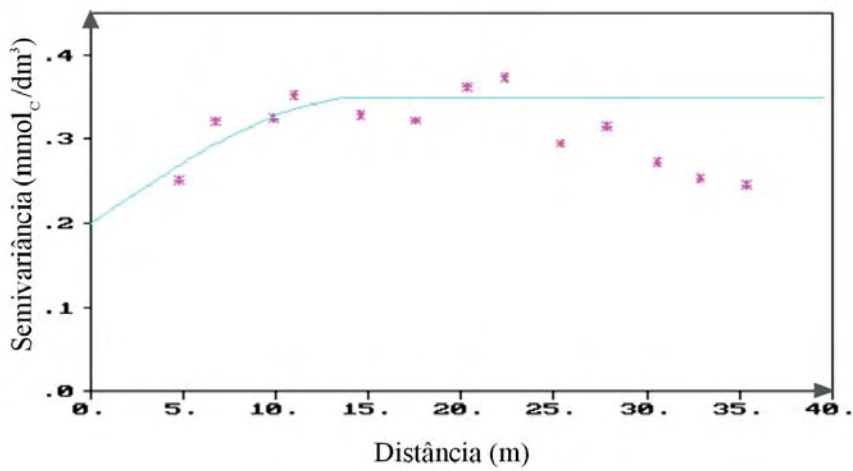


Figura 21 – Semivariograma do potássio do solo na profundidade de 0,20-0,40 m no sistema de plantio direto. (* semivariograma experimental, — modelo ajustado)

Quadro 11. Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados da variável potássio (mmol/dm^3) nas profundidades 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.

Profundidade	Co	Co+C ₁	Alcance (metros)	Modelo
I - (0-0,20 m)	0,2000	0,3500	15	Esférico
I - (0,20-0,40 m)	0,0850	0,0350	15	gaussiano
II - (0-0,20 m)	0,6500	-	-	Efeito pepita puro
II - (0,20-0,40 m)	0,2000	0,3500	15	Esférico

I – Sistema de plantio convencional

II – Sistema de plantio direto

Co – efeito pepita

Co+C₁- patamar

Com relação ao potássio foi ajustado o modelo esférico para o sistema convencional na profundidade de 0 a 0,20 m e 0 a 0,40 m para o sistema plantio direto com grau de dependência 57,1%, moderado para ambos. O modelo gaussiano para o sistema convencional na profundidade de 0,20 a 0,40 m. Pode-se observar para o sistema plantio direto na profundidade de 0 a 0,20 m distribuição aleatória, como mostra o quadro 11.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho permitem fazer as seguintes considerações:

- os coeficientes de variação mostraram maior variabilidade para o fósforo e menor para o pH;
- as variáveis densidade do solo no sistema plantio convencional nas profundidades de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m e no sistema plantio direto na profundidade 0 a 0,10 m, e teor de matéria orgânica no sistema de plantio convencional na profundidade de 0 a 0,20 m apresentaram distribuições de frequência que se aproximaram da distribuição do tipo normal;
- as variáveis pH no sistema plantio convencional nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m e no sistema plantio direto 0 a 0,20 m, matéria orgânica no sistema plantio convencional na profundidade de 0,20 a 0,40 m e no sistema plantio direto 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, fósforo e potássio em ambos os sistemas e profundidades apresentaram distribuições de frequência que se aproximaram da distribuição do tipo lognormal;
- para o teor de fósforo verificou-se coeficiente de assimetria bastante forte;

- para as variáveis que detectaram dependência espacial observou-se grau de dependência espacial moderado;
- as análises geoestatísticas mostraram efeito pepita puro para as variáveis densidade do solo no sistema plantio convencional nas profundidades de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m e no sistema plantio direto na profundidade de 0,10 a 0,20 m, fósforo no sistema plantio direto nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m e potássio no sistema plantio direto nas profundidades de 0 a 0,20 m. Nestes casos há indicação de distribuições aleatórias, porque houve independência espacial ou o espaçamento da amostragem deveria ser menor do que 5 m para que houvesse possibilidade de revelar a dependência espacial;
- em relação aos alcances espaciais encontrados, verificou-se que variaram entre 15 m e 20 m para as variáveis com dependência espacial detectada.

8. CONCLUSÕES

Os resultados do desenvolvimento deste trabalho permitem apresentar as seguintes conclusões:

- para as variáveis pH, matéria orgânica , fósforo e potássio na profundidade de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m no sistema plantio convencional e as variáveis densidade na profundidade de 0 a 0,10 m, pH nas profundidades de 0 a 0,20 m e de 0,20 a 0,40 m, matéria orgânica nas profundidades de 0 a 0,20 m e de 0,20 a 0,40 m e potássio na profundidade de 0,20 a 0,40 m no sistema plantio direto apresentaram dependência espacial, com alcance variando entre 15 e 20 m;
- a variável densidade, nas profundidades de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m no sistema convencional, e as variáveis densidade na profundidade de 0,10 a 0,20 m, fósforo nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m e potássio na profundidade de 0 a 0,20 m no sistema plantio direto não apresentaram dependência espacial;
- O plantio convencional proporcionou maior número de semivariogramas indicando dependência espacial.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENEZ, S.H. *Estudo do cultivo mínimo na cultura do milho (Zea mays, L.) em solo Podzólico vermelho amarelo var. Laras*. Piracicaba, 1972. 108p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BHATTI, A.V., MULLA, D.J. & FRAZIER, B.E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. *Rem. Sens. Environ.*, v.37, p. 181-191, 1991.
- CAMBARDELLA, C.A., MOORMAN, T.B., NOVAK, J.M., PARKIN, J.B., KARLEN, D.L., TURCO, R.F., KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa a Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.58, p. 1501-1511,1994.
- CASSEL, D.K. & BAUER, A. Spatial Variabilty in soils below dept of tillage, bulk density and fifteen atmosphere percentage. *Science Society America Proceedinge*, Madison, v.39: 245-50, 1975.

- CAVALCANTE, E.G.S. *Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes condições de uso e manejo, em Selvíria (MS)*. Ilha Solteira, 1999. 199p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho.
- CLARK, I. *Practical Geostatistics*. New York: *Applied Science*, 1979. 129p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Conservação do Solo/EMBRAPA, 1979. Parte 1, “não pag.”.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento de Solo. *Classificação Brasileira de Solos*. Brasília: Serviço Nacional de Levantamento de Solo/EMBRAPA, 1999. 412 p.
- ENGLUND, E., SPARKS, A. *Geo-Eas: versão 1.2.1. User's Guide* U.S.EPA, Las Vegas, 1988.
- GARCIA, P.A.G. *Geoestatística Operacional*. Brasília: Ministério das Minas e Energia, 1988. 145p.
- GOMES, F.P. *A estatística moderna na pesquisa agropecuária*. Piracicaba: Patafos, 1984. 160p.
- GUIMARÃES, E.C. *Variabilidade espacial da umidade e densidade do solo de um latossolo roxo*. Campinas, 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola: Água e solo) Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp.
- GRECO, R.C. *Sistemas de preparo do solo e manejo da cobertura vegetal espontânea na cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.)*. Botucatu, 1999. 113p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas Unesp.

- ISAAKS, E.H., SRIVASTAVA, R.M. *Applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- JOURNEL, A.G., HUIJBREGTS, C.J. *Mining geostatistics*. 5.ed. London: Academic Press, 1991. 600p.
- KRIGE, D.G. A statistical approach to some basic evaluation problems on the Witwatersrand. Johannesburg, *J.Chem. Metall. Min. Soc.* v.52, p. 119-39, 1951.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. *Economic Geology*. El Paso, v.58, p. 1246-66. 1971.
- MCGRAW, T. Soil test level variability in Southern Minnesota. *Better Crops, Potash & Phosphate Institute*, Norcross, v.78 (4), p.24-25, 1994.
- MILLER, M.P., SINGER, M.J., NIELSEN, D.R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. *Soil Science Society American Journal*, v.52, p.1133-41, 1988.
- OLIVEIRA, J. J., CHAVES, L.H.G., QUEIROS, J.E., LUNA, J.G. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. *Rev. Bras. Ciência do Solo*, v.23, p. 783-789, 1999.
- RAIJ, B.V., QUAGGIO, J.A. Métodos de análises de solos para fins de fertilidade. *Bol. Téc. Inst. Agron. Campinas*, v.81, p.1-31, 1983.
- REICHARDT, K., VIEIRA, S.R., LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentações de campo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. Campinas, v.10, p. 1-6, 1986.

- RIBEIRO JUNIOR, P.J. *Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo*. Piracicaba: 1995. 99p. Dissertação (mestrado em agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP.
- SANCHES, R. B. *Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de latossolo em diferentes superfícies geomórficas sob cultivo de café, em Patrocínio. M.G.* Jaboticabal: 1999. 79p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP.
- SILVA, A. R. B. *Comportamento de variedades/Híbridos de milho (Zea mays, L.) em diferentes tipos de preparo de solo*. Botucatu: 2000.87p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- SOUZA, L. da S. *Variabilidade espacial do Solo em sistemas de manejo*. Porto Alegre: 1992. 162p. Tese (doutorado em Ciências do solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SOUZA, L.S., COGO, N.P., VIEIRA,S.R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. *Rev. Bras. Ciência do Solo*, Viçosa, v.21,p.367-72,1997.
- TAKEDA, E.Y. *Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de uma associação de solos sob videira (Vitis vinifera – L) de Vitória – Brasil (SP)*. Ilha Solteira: 2000. 102p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho.
- UPCHURCH, D.R. & EDMONDS, Statistical procedures for specific objectives. In: Spatial of soils and landforms. *Soil Sci. Soc. of America. Special publication*, v.28, p.49-71. 1991.

VIEIRA, S.R., HATFIELD, J.L., NIELSEN, D.R., BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*. Berkeley. V31, n.3, 1983. 75p.

VIEIRA, S.R. Curso de Atualização em conservação do solo: uso de geoestatística. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1995. 75p.