

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**“Correlação Linear e Espacial da Produtividade de Forragem
de Milho com Atributos Físicos de um Latossolo Vermelho
Distrófico”**

CÉSAR GUSTAVO DA ROCHA LIMA
Geógrafo

Orientador: Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira,
para obtenção do título de Mestre em
Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação/Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP-Ilha Solteira

Lima, César Gustavo da Rocha.

L732c Correlação linear e espacial da produtividade de forragem de milho com atributos físicos de um latossolo vermelho distrófico / César Gustavo da Rocha Lima.
Ilha Solteira : [s.n.], 2007
107 f. : il., fots. (Algumas color.)

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de Concentração: Sistemas de Produção, 2007

Orientador: Morel de Passos e Carvalho

Bibliografia: p. 100-107

1. Física do solo. 2. Solos – Manejo. 3. Plantio direto. 4. Milho – Forragem.
5. Agricultura de precisão. 6. Geoestatística.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Correlação Linear e Espacial da Produtividade de Forragem de Milho com Atributos Físicos de um Latossolo Vermelho Distrófico

AUTOR: CÉSAR GUSTAVO DA ROCHA LIMA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho

DATA DA REALIZAÇÃO: 27 de junho de 2007

Aprovada com parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em AGRONOMIA pela Comissão Examinadora:



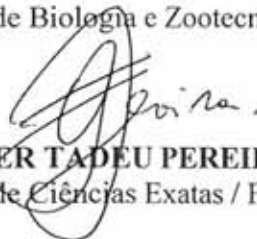
Prof. Dr. **MOREL DE PASSOS E CARVALHO**

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. **JÓÃO ANTONIO DA COSTA ANDRADE**

Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. **GENER TADEU PEREIRA**

Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

LIMA, C. G. R. **Correlação linear e espacial da produtividade de forragem de milho com atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distrófico**. Ilha Solteira, 2007, 107p. Dissertação. (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

RESUMO

O milho é um dos cereais mais cultivados e consumidos no mundo. Para silagem é a forrageira de melhor qualidade, muito utilizada na alimentação bovina. Por apresentar sistema radicular com alto potencial de desenvolvimento, os atributos físicos do solo são de extrema importância à sua produtividade, uma vez que, em condições adversas, podem dificultar a penetração das raízes e, conseqüentemente, limitar o adequado aproveitamento dos nutrientes e da água disponível. No ano agrícola de 2005, na Fazenda Bonança (Agropecuária Dahma), município de Pereira Barreto (SP), Brasil (20°40'12" latitude S; 51°01'50" longitude W), foram analisadas a produtividade de forragem do milho *safrinha* outonal (MSF), no sistema plantio direto irrigado, as densidades da partícula (DP) e do solo (DS), as porosidades totais determinada (PT) e calculada (PTc), os teores de areia (AR), silte (SI) e de argila (AR) de um Latossolo Vermelho Distrófico (Acrustox Háplico) local, nas profundidades 1 (0-0,10 m), 2 (0,10-0,20 m) e 3 (0,20-0,30 m). O objetivo foi estudar a variabilidade e as correlações lineares e espaciais entre os atributos da planta e do solo, visando selecionar um indicador da qualidade física do solo de boa representatividade para a produtividade da forragem. Foi instalada a malha geoestatística para a coleta dos dados do solo e da planta, contendo 125 pontos amostrais, numa área de 2500 m² e declive homogêneo de 0,025 m/m. No geral, os atributos estudados, além de não terem revelado distribuição aleatória, apresentaram variabilidade entre média e baixa. Seguiram padrões espaciais claramente definidos, com alcances da dependência espacial entre 6,8 e 46,8 metros. Assim, o maior alcance que poderá assegurar extrema semelhança em magnitude para qualquer atributo estudado, e que poderá alimentar os pacotes computacionais direcionados à agricultura de precisão, deverá ser de 46,8 metros. A MSF poderá ser estimada por meio de equação de regressão linear múltipla de elevada significância, a partir das variáveis-atributos PT1 e PT2. Já a PT deverá ser convenientemente determinada pelo Método do Anel Volumétrico. Apesar de a correlação linear simples entre a MSF com os atributos da relação massa/volume e da granulometria do solo ter sido baixa, sobretudo em função do elevado número de observações, ela foi extremamente significativa. Contudo, do ponto de vista espacial, houve elevada correlação inversa entre tal produtividade e a densidade global estabelecida na camada superficial do solo (DS1). Portanto, nos sítios onde a DS1 apresentou seus maiores valores (1,45-1,64 kg/dm³), denotando um solo com o mais severo grau de compactação, a MSF atingiu as menores cifras (11653-14552 t/ha). Já naqueles onde diminuiu, isto é, na região mais descompactada (1,35-1,45 kg/dm³), a MSF alcançou as maiores cifras (14552-17450 t/ha). Assim, a densidade global, avaliada na camada superficial do solo (DS1), apresentou-se como satisfatório indicador da qualidade física do solo de Pereira Barreto (SP), quando destinado à produtividade de forragem do milho *safrinha* outonal.

Termos de indexação: propriedades físicas do solo, manejo do solo, qualidade física do solo, plantio direto, forragicultura, nutrição animal, agricultura de precisão, integração agricultura-pecuária.

LIMA, C. G. R. **Linear and spatial correlation among the forage productivity of corn with physical attributes of the a Haplic Acrustox.** Ilha Solteira, 2007, 107p. Dissertation. (Master's degree of Systems of Production) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

ABSTRACT

Corn is one of cereals most cropped and consumed in the world. At silage is the best green crop, very employed in the bovine nutrition. Once it has roots with high growth capability, the soil physical attributes are very important to his productivity, so that, in adverse conditions, they can inhibit the roots penetration, and thus restrict the suitable absorption of plant nutrients and available water. The forage productivity of autumnal corn (FP) in no-tillage and irrigated, and the particle (PD) and bulk (BD) densities, the determined (TPd) and computed (TPc) total porosities, the contents of sand (SA), silt (SI), and clay (CL) soil attributes, in depths 1 (0-0,10 m), 2 (0,10-0,20 m), and 3 (0,20-0,30 m), in a Haplic Acrustox of Bonança Farm (Dahma Agricultural Company) in Pereira Barreto County, Sao Paulo State, Brazil (20°40'12'' latitude S; 51°01'50'' longitude W), were analyzed in the agricultural year of 2005. The purpose was to study the variability and linear spatial correlations among the attributes (plant and soil), aiming to select an index of soil physical quality with good capacity to represent the forage productivity. A grid geostatistical to collect soil and plant data was installed, with one hundred and twenty five sample points, in a area of 2500 m², with homogeneous slope steepness of 0.025 m/m. Yonder not changed randomly, the studied attributes showed median to low variability, with excellent spatial performances, and ranges between 6.8 and 46.8 meters. Therefore, the farthermost range at to guarantee high similitude in size, at every-one soil researched attribute, and however it will be used in the computational software of precision agriculture, must be of 46.8 meters. The FP will be estimated through equation of multiple linear regression, from the TPd1 and TPd2 attributes. The Core Method must determine the TP advantageous. Although the simple linear correlation between the FP with the soil attributes had been low, for the reason of high number of data, it had a high significance. Nevertheless, regarding to spatial variability, a high inverse correlation happened between the FP and BD1. Thus, where the BD1 increased (1.45-1.64 kg/dm³), showing a soil region with the higher degree of compaction, the FP showed the smaller values (11653-14552 t/ha). At those where decreased (1.35-1.45 kg/dm³), the FP showed the highest values (14552-17450 t/ha). So, the bulk density, analyzed in the layer of zero-0.10 m, showed to be a satisfactory index of soil physical quality of Pereira Barreto County, when destined to forage productivity of autumnal corn.

Index-terms: soil physical properties, soil management, soil physical quality, no-tillage, crop forage, animal nutrition, precision agriculture, agriculture-cattle raising integration.

SUMÁRIO

Página

RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE QUADROS.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. DESENVOLVIMENTO.....	17
2.1. Conceituação do solo agrícola ideal.....	17
2.2. A granulometria do solo e o desenvolvimento das plantas.....	18
2.3. Atributos da relação massa/volume do solo.....	22
2.3.1. Densidade da partícula sólida do solo.....	23
2.3.2. Densidade global do solo.....	23
2.3.3. Porosidade total do solo.....	24
2.4. A cultura do milho.....	25
2.5. Principais conceitos da geoestatística.....	26
2.6. A geoestatística aplicada aos estudos da granulometria e das relações massa/volume do solo.....	29
2.6.1. Variabilidade dos dados de granulometria e das relações massa/volume do solo.....	29
2.6.2. Variabilidade espacial da granulometria e das relações massa/volume do solo.....	31
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1. Caracterização do local de origem dos dados experimentais.....	34
3.2. Implantação e condução da cultura do milho.....	34
3.3. Implantação e caracterização da rede experimental.....	36
3.4. Coleta e metodologia de determinação dos atributos do solo.....	37
3.5. Coleta e análise dos atributos da planta.....	37
3.6. Análise estatística dos dados.....	38
3.6.1. Análise descritiva inicial dos dados.....	39
3.6.2. Análise de regressão.....	39
3.6.3. Análise geoestatística.....	39

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1. Análise descritiva dos dados.....	42
4.1.1. Variabilidade dos dados dos atributos estudados	42
4.1.1.1. Atributos da planta	42
4.1.1.2. Atributos granulométricos do solo	42
4.1.1.3. Atributos da relação massa/volume do solo.....	44
4.1.2. Distribuição de frequência e valores médios dos atributos estudados.....	46
4.1.2.1. Atributos da planta	46
4.1.2.2. Atributos granulométricos do solo	46
4.1.2.3. Atributos da relação massa/volume do solo.....	47
4.2. Análise de regressão entre os atributos estudados.....	49
4.2.1. Regressão linear simples	49
4.2.1.1. Matriz de correlação linear simples entre os atributos estudados	49
4.2.1.1.1. Atributos da planta <i>versus</i> atributos da planta	49
4.2.1.1.2. Atributos da planta <i>versus</i> atributos do solo	49
4.2.1.1.3. Atributos do solo <i>versus</i> atributos do solo	52
4.2.1.2. Regressão linear simples entre os atributos estudados	53
4.2.2. Regressão linear múltipla.....	55
4.3. Análise geoestatística dos atributos estudados.....	56
4.3.1. Análise semivariográfica simples	56
4.3.1.1. Ajuste dos semivariogramas simples dos atributos estudados	56
4.3.1.2. Validação cruzada dos semivariogramas simples dos atributos estudados	66
4.3.1.3. Mapas de krigagem dos atributos estudados.....	75
4.3.2. Análise semivariográfica cruzada.....	83
4.3.2.1. Ajuste dos semivariogramas cruzados entre os atributos estudados	83
4.3.2.2. Validação cruzada dos semivariogramas cruzados entre os atributos estudados	85
4.3.2.3. Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem entre os atributos estudados.....	85
5. CONCLUSÕES.....	98
6. REFERÊNCIAS	100

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
01	Frações granulométricas do solo segundo as escalas do U.S.D.A. (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) e a de Atterberg (Sociedade Internacional de Ciência do Solo).....	18
02	Gráfico triangular para determinação da classe textural adotada pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.....	19
03	Gráfico triangular adotado para classificação textural do solo conforme classificação da EMBRAPA.....	20
04	Modelo de semivariograma experimental e teórico.....	27
05	Vista geral da cultura do milho ao final do desenvolvimento (29/04/05).....	35
06	Esquema da rede experimental alocada na Fazenda Bonança, município de Pereira Barreto (SP).....	36
07	Semivariogramas dos atributos (MSF, log AME, ALT e DMC) da produtividade do milho sob um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.....	58
08	Semivariogramas dos atributos granulométricos (r-AR1, AR2 e AR3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.....	59
09	Semivariogramas dos atributos granulométricos (r-SI1, log SI2 e r-SI3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.....	60

Figura		Página
10	Semivariogramas dos atributos granulométricos (AG1, AG2 e AG3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.....	61
11	Semivariogramas dos atributos de relação massa/volume (r-DP1, DP2 e DP3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.....	62
12	Semivariogramas dos atributos de relação massa/volume (DS1, DS2 e DS3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.....	63
13	Semivariogramas dos atributos de relação massa/volume (PT1, PT2 e PT3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.....	64
14	Semivariogramas dos atributos de relação massa/volume (PTc1, r-PTc2 e PTc3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.....	65
15	Validação cruzada dos atributos (MSF, log AME e ALT) da produtividade do milho em um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	68
16	Validação cruzada dos atributos granulométricos (r-AR1, AR2 e AR3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	69
17	Validação cruzada dos atributos granulométricos (log SI2 e r-SI3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	70

Figura		Página
18	Validação cruzada dos atributos granulométricos (AG1, AG2 e AG3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	71
19	Validação cruzada dos atributos de relação massa/volume (DS1, DS2 e DS3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	72
20	Validação cruzada dos atributos de relação massa/volume (PT1, PT2 e PT3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	73
21	Validação cruzada dos atributos de relação massa/volume (PTc1 e r-PTc2) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	74
22	Mapas de krigagem dos atributos (MSF, log AME e ALT) da produtividade do milho em um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	76
23	Mapas de krigagem dos atributos granulométricos (<i>r</i> -AR1, AR2 e AR3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	77
24	Mapas de krigagem dos atributos granulométricos (log SI2 e <i>r</i> -SI3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	78
25	Mapas de krigagem dos atributos granulométricos (AG1, AG2 e AG3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	79

Figura		Página
26	Mapas de krigagem dos atributos de relação massa/volume (DS1, DS2 e DS3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	80
27	Mapas de krigagem dos atributos de relação massa/volume (PT1, PT2 e PT3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	81
28	Mapas de krigagem dos atributos de relação massa/volume (PTc1 e r-PTc2) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	82
29	Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da produtividade de matéria seca da forragem do milho (MSF) em função da altura (ALT) em um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	87
30	Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da produtividade de matéria seca da forragem do milho (MSF) em função do atributo granulométrico AG3 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	88
31	Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da produtividade de matéria seca da forragem do milho (MSF) em função do atributo de relação massa/volume DS1 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	89

32	Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da produtividade de matéria seca da forragem do milho (MSF) em função do atributo de relação massa/volume DS2 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	90
33	Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da produtividade de matéria seca da forragem do milho (MSF) em função do atributo de relação massa/volume DS3 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	91
34	Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da produtividade de matéria seca da forragem do milho (MSF) em função do atributo de relação massa/volume PT2 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	92
35	Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da produtividade de matéria seca da forragem do milho (MSF) em função do atributo de relação massa/volume PT3 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	93
36	Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da porosidade total determinada (PT1), em função do atributo DS1 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	94

Figura**Página**

37	Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da porosidade total calculada (PTc1), em função do atributo DS1 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	95
38	Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da porosidade total determinada (PT1), em função do atributo PTc1 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	96
39	Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da porosidade total calculada (PTc1), em função do atributo PT1 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	97

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
01	Cor, Análise granulométrica e química de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	35
02	Análise descritiva inicial de alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.....	43
03	Matriz de correlação linear simples entre alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.....	50-51
04	Equação de regressão linear simples e coeficientes do ajuste entre atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	54
05	Parâmetros dos semivariogramas ajustados para alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.....	57
06	Parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens de alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.....	67
07	Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados entre alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.....	84
08	Parâmetros das validações cruzadas referentes às cokrigagens entre alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.....	86

1. INTRODUÇÃO

Solo agrícola ideal, à luz da físico-química coloidal, pode ser considerado como um sistema trifásico natural e disperso. Assim, cada fase, entre as quais a sólida, a líquida e a gasosa, encontra-se intimamente ligada às outras duas. Sendo a fase sólida pouco variável, ocupa metade do seu volume, dado por 45% de componentes minerais e 5% de orgânicos. As fases líquida e gasosa, encerrando sua porosidade total e compondo a outra metade, são representadas por 33% de microporosidade, que é o espaço poroso destinado à retenção de água, assim como por 17% de macroporosidade, espaço poroso que contém a aeração do solo.

Densidade global do solo, ou simplesmente densidade do solo, refere-se à relação existente entre a massa de uma amostra indeformada e seca do solo (monólito) e o respectivo volume total, isto é, o volume ocupado pelas suas três fases. Por possuir estreita relação com outros atributos, a grande maioria das pesquisas converge para o fato de que com o seu aumento ocorre uma diminuição da porosidade total, da macroporosidade, da condutividade hidráulica e da absorção iônica, assim como com o conseqüente aumento da microporosidade e da resistência mecânica à penetração do solo. Tal fato, por gerar o estado de solo compactado, viria a desencadear uma diminuição da produtividade agrícola. Já a densidade da partícula sólida do solo, ou simplesmente densidade da partícula, é dada pela relação entre a massa de uma amostra deformada e seca do solo (terra fina seca em estufa) e o respectivo volume da partícula, isto é, o volume ocupado apenas pela fase sólida. Num primeiro momento parece ser um atributo de menor importância para os estudos agrônômicos. Porém, sua relação com as plantas é considerada de forma indireta, uma vez que está diretamente ligada à natureza dos minerais e compostos orgânicos que compõem o solo, acabando por influenciar diretamente a produção vegetal.

A capacidade de armazenamento de água e de retenção e disponibilidade de nutrientes são fortemente influenciadas pela granulometria do solo, como também pelos

atributos relacionados com sua relação massa/volume. Assim, a granulometria do solo é de grande importância aos estudos agrônômicos, uma vez que exerce importância capital nas tomadas de decisões voltadas ao seu preparo, o qual provoca substanciais modificações nos seus atributos físicos, químicos e biológicos, repercutindo, direta ou indiretamente, na produtividade agrícola. Por outro lado, as operações agrícolas por diversas vezes modificam as características da relação massa/volume do solo, colocando em risco seus processos dinâmicos, os quais se acham intimamente dependentes da porosidade. Dessa forma, os atributos derivados dessa relação, entre os quais a densidade do solo, a densidade da partícula e a porosidade total, merecem especial atenção, principalmente no que diz respeito à adoção de um manejo adequado. Tais atributos exercem grande influência na dinâmica entre as fases sólida, líquida e gasosa, podendo dificultar a penetração das raízes e, por consequência, o adequado aproveitamento dos nutrientes, da água e do ar, essenciais ao desenvolvimento vegetal.

O milho constitui-se num dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo. Atualmente no Brasil, terceiro maior produtor mundial desse grão, embora com baixa produtividade, dois terços da sua utilização são destinados ao consumo animal, sendo o restante para outros fins. Já para silagem, é a forrageira de melhor qualidade, sendo muito utilizada na alimentação do gado bovino leiteiro e, mais recentemente, na do confinado para engorda. Para este fim, apresenta uma produtividade média de 20-30 t/ha de massa verde, equivalendo a 8-12 t/ha de massa seca. Entretanto, há casos em que seu potencial de produtividade é superior a 20 t/ha de massa seca, dependendo da fertilidade do solo, do cultivar e do clima. Por apresentar um sistema radicular com alto potencial de desenvolvimento, os atributos físicos do solo, sobretudo aqueles estabelecidos pela relação massa/volume e sua granulometria, são muito importantes a essa cultura, podendo, em condições adversas, dificultar a penetração das raízes e, conseqüentemente, limitar o adequado aproveitamento dos nutrientes e da água disponível.

A agricultura de precisão, representada por toda tentativa de desenvolvimento econômico do meio rural, é apoiada no ótimo da eficiência gerencial, que determinadas áreas agrícolas necessitam, de forma localizada no espaço. Assim, a partir do mapeamento das correlações existentes, diretas e/ou indiretas, entre os atributos do solo e a produtividade das culturas, pode-se efetuar a execução de determinada prática conservacionista, tal como a adubação e/ou descompactação, de forma direcionada e com taxas variáveis. Portanto, nas áreas de menores produtividades agrícolas, normalmente associadas aos baixos níveis de fertilidade do solo, seriam destinadas as maiores taxas de fertilizantes, sendo perfeitamente

válido o inverso. A partir do georeferenciamento da maioria das informações necessárias, podem ser editados mapas digitais para todas elas, isoladas ou conjuntamente, objetivando a aplicação final dos insumos com taxas variáveis.

A geoestatística é utilizada para o estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo e da planta, tendo o semivariograma como elemento que atesta sua aplicabilidade. Seu uso requer a coleta de amostras previamente planejadas, com a localização espacial exata de cada ponto amostral. Estudos geoestatísticos têm relatado a influência dos atributos do solo sobre o padrão e a distribuição espacial da produtividade vegetal. Assim, sabe-se que a planta atua de forma a responder, sobretudo quando sua produtividade é analisada espacialmente, de forma positiva e/ou negativa, conforme o comportamento da variabilidade dos atributos do solo. Por outro lado, sendo o semivariograma uma ferramenta básica de suporte às técnicas geoestatísticas de mapeamento por krigagem, ele permite quantificar a dependência espacial de uma variável regionalizada representante de um atributo qualquer. É caracterizado por três parâmetros: patamar, efeito pepita e alcance. Este último representa a distância dentro da qual os valores de um determinado atributo são estatisticamente iguais. Assim, valores de um atributo, localizados dentro da área cujo raio é igual ao seu valor, possuem entre si uma forte dependência espacial e semelhança em magnitude. Contudo, passam a assumir valores diferentes, maiores ou menores, somente para distâncias estabelecidas a partir do seu valor. Seu conhecimento é de extrema importância à agricultura de precisão, uma vez que os programas computacionais o utilizam para, em função da inteligência artificial que o geoprocessamento desempenha via satélite, poder monitorar o trator agrícola, equipado com a semeadora/adubadora, e assim poder efetuar a distribuição no terreno de um determinado insumo com taxas variáveis.

Diante do exposto, a presente pesquisa, realizada num Latossolo Vermelho Distrófico da Fazenda Bonança - Agropecuária Dahma, município de Pereira Barreto (SP), objetivou: a) analisar a variabilidade dos atributos estudados da planta e do solo; b) definir as correlações lineares e espaciais entre a produtividade de forragem do milho outonal (safrinha) com os atributos do solo pesquisado, e c) pesquisar, entre os atributos do solo, aquele que venha a se apresentar como indicador da sua qualidade física, visando o aumento da produtividade de forragem do milho para o local estudado.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Conceituação do solo agrícola ideal

Do ponto de vista físico-químico coloidal, o solo pode ser considerado como um sistema natural disperso, composto de três fases distintas: sólida, líquida e gasosa. A fase sólida, pouco variável, geralmente é predominante, sendo sua constituição formada por uma parte orgânica e outra mineral, enquanto que as fases líquida e gasosa correspondem ao sistema poroso do solo. A primeira, fase líquida, constituída de solvente/solutos, encontra-se retida no solo sob diferentes tensões, ao passo que a segunda, gasosa, é constituída do ar do solo, representado basicamente pelo CO₂ e O₂ provenientes da atmosfera e das reações processadas no sistema água-solo-planta-atmosfera. Assim, o solo agrícola ideal tem sido referido como aquele que apresenta cerca de 50% de porosidade total (sendo 0,335 e 0,165 m³/m³ respectivamente correspondente à microporosidade e macroporosidade) e 50% de volume sólido (sendo 0,450 m³/m³ correspondente à parte mineral e 0,050 m³/m³ à parte orgânica) (BAVER et al., 1973; MEDINA, 1975b; KIEHL, 1979).

A parte mineral do solo consiste em inúmeras partículas de tamanhos variados e com diferentes formas e composições químicas, as quais se encontram agregadas umas às outras. Assim, as partículas primárias do solo referem-se individualmente às partículas unitárias das frações areia, silte e argila, que quando associadas a outros componentes como a matéria orgânica e sais podem formar massas distintas denominadas partículas secundárias. Por outro lado, os agregados do solo são constituídos por conjuntos de partículas primárias agrupadas em unidades compostas (partículas secundárias) separadas entre si por uma superfície de fraqueza (GROHMANN, 1975; BUCKMAN, 1976; KIEHL, 1979).

Do ponto de vista pedo-edafológico, o solo agrícola é exclusivamente constituído de partículas menores do que 2,00 mm, que correspondem às frações areia, silte e argila, sendo seu matrix. As partículas maiores que 2,00 mm de diâmetro (matações, calhaus e cascalhos)

são chamadas de “esqueleto do solo”, que não merece maior destaque do ponto de vista agrícola por não exercerem grande influência na dinâmica do solo. Desta forma, para caracterização da granulometria leva-se em consideração apenas a parte do solo cujas partículas sejam inferiores a 2,00 mm, ou seja, a terra fina seca ao ar (TFSA) (MEDINA, 1975b; VIEIRA et al., 1988; RESENDE et al., 2002).

2.2. A granulometria do solo e o desenvolvimento das plantas

A granulometria do solo pode ser definida como sendo a proporção relativa dos diferentes grupos de partículas primárias nele existente (areia, silte e argila), sendo expressa por classes de tamanhos de partículas dentro de determinadas amplitudes de variação. Ela depende muito da rocha de origem e de seu grau de intemperização, sendo uma característica física pouco variável para um mesmo solo (GAVANDE, 1972; BAVER et al., 1973; MEDINA, 1975b; KIEHL, 1979; GEE & BAUDER, 1986; RESENDE et al., 2002).

Atualmente existem várias idealizações de classificação das frações do solo. Porém, uma das mais conhecidas, difundidas e utilizadas é a de Atterberg, usualmente adotada como a Classificação Internacional. Outra é a Classificação Americana do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. A apresentação de ambas está contida na Figura 1. Assim, são observadas algumas pequenas diferenças entre as faixas de variação das frações do solo entre as duas classificações. Portanto, a análise granulométrica do solo poderá indicar maior teor de silte quando utilizada a escala Americana, ao passo que maior teor de areia, para a classificação Internacional (PRADO, 2000).

Atterberg	2,0 mm			0,2		0,02		0,002 mm	
	Areia grossa			Areia fina		Silte		Argila	
Esqueleto do solo	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina		Areia muito fina	Silte		Argila
U.S.D.A.	2,0 mm	1,0	0,5	0,25	0,10	0,05	0,002 mm		

Figura 1: Frações granulométricas do solo segundo as escalas do U.S.D.A. (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) e a de Atterberg (Sociedade Internacional de Ciência do Solo).

Dentre outras classificações, podem ser citadas: a) *DA-CE – Department of Army, Corps of Engineers*, b) *USBR – U.S. Bureau of Reclamation*, e c) *ASTM - American Society for Testing and Materials*, as quais apresentam diferenças entre as faixas limites das frações areia, silte e argila, em relação à Classificação Internacional e à Americana, bem como algumas subdivisões distintas da fração argila (BAVER, et al., 1973; GEE & BAUDER, 1986).

Na determinação da granulometria, após a separação das frações de areia, silte e argila, efetuada por meio da análise laboratorial, os valores observados são comparados em um diagrama triangular, que determinará sua classe granulométrica. Tal análise pode tanto superestimar como subestimar as frações de silte e argila, em função de microagregações de partículas primárias causadas por agentes cimentantes do solo (KITAMURA, 2004).

Para a determinação da classe granulométrica do solo, também conhecida como classe textural, são encontrados vários modelos de classificação. Um dos mais difundidos é o do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*Soil Survey Staff*), o qual foi adaptado de acordo com a Comissão Permanente de Métodos de Trabalho de Campo, da Sociedade Brasileira do Solo, e que se encontra presente na Figura 2 (MEDINA, 1975a; KIEHL, 1979).

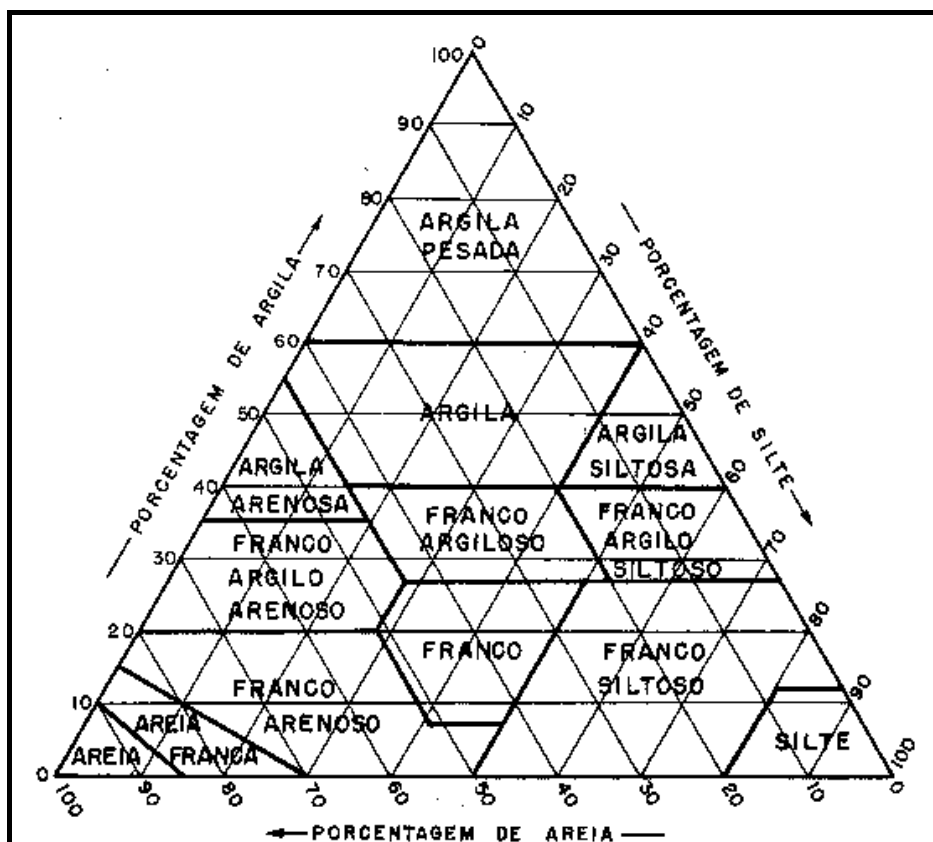


Figura 2: Gráfico triangular para determinação da classe textural adotada pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

A classificação retro citada adota os seguintes critérios: a) utiliza o gráfico triangular; b) adota a escala granulométrica americana; c) adota o agrupamento das frações do solo (argila, silte e areia); d) distribui o solo em treze classes com a subdivisão da argila em argila e argila pesada; e) não destaca a influência da argila sobre as demais frações do solo na delimitação de todas suas classes granulométricas, e f) os termos *areia muito grossa*, *areia grossa*, *areia fina* e *areia muito fina* são caracterizados posteriormente às classes granulométricas arenosas quando se verifica a predominância dessas diferentes frações (MEDINA, 1975a; VIEIRA, 1975).

Outra classificação que pode ser mencionada, em virtude da sua utilização no Brasil, é a da EMBRAPA (2006b), apresentada na Figura 3.

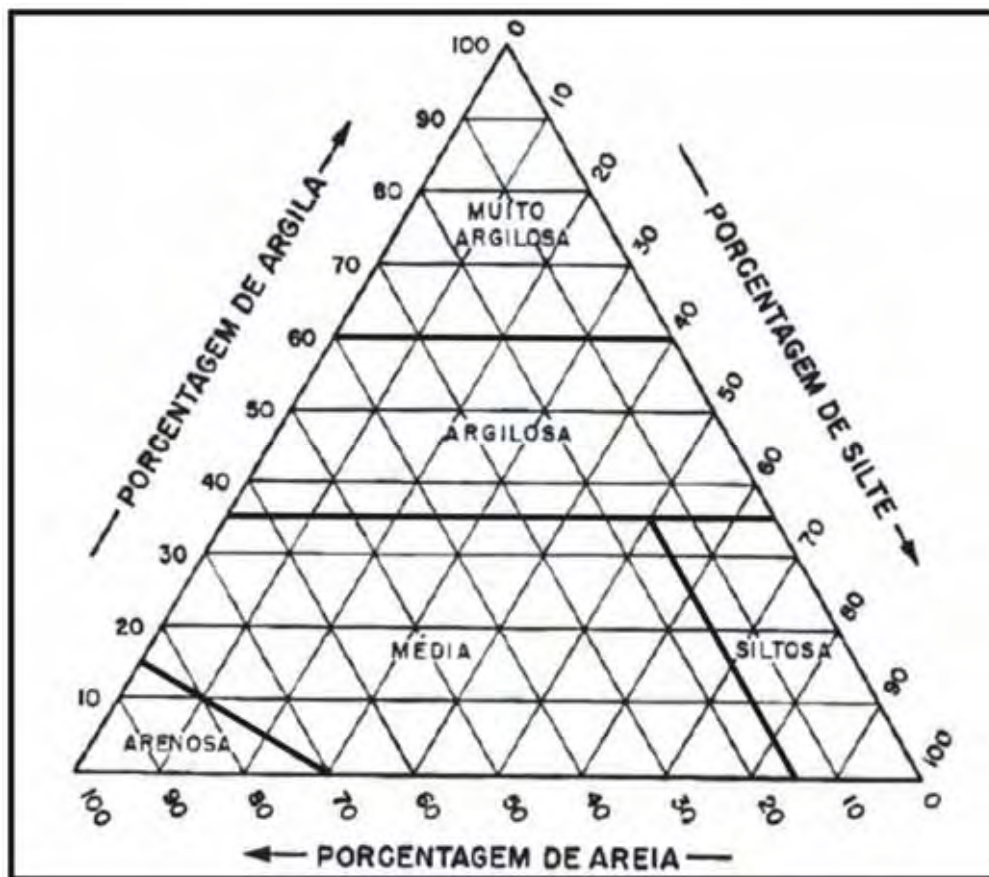


Figura 3: Gráfico triangular adotado para classificação textural do solo, conforme classificação da EMBRAPA.

Esta classificação divide as classes em cinco grupamentos: a) **textura arenosa** (que compreende as classes texturais *areia* e *areia franca*, contendo um máximo de 15% de argila); b) **textura média** (compreende classes texturais ou parte delas, tendo menos de 35% de argila

e mais de 15% de areia, excluídas as classes texturais *areia* e *areia franca*); c) **textura argilosa** (compreende classes texturais ou parte delas, tendo na composição de 35 a 60% de argila); d) **textura muito argilosa** (compreende classes texturais com mais de 60% de argila) e, e) **textura siltosa** (compreende parte de classes texturais que contenham menos de 35% de argila e menos de 15% de areia). De acordo com Kitamura (2004), no Brasil, para distinguir unidades de mapeamentos do solo empregam-se classes generalizadas às quais constituem uma simplificação das classes primárias de textura. Dessa forma, os solos brasileiros são classificados em cinco classes de textura: arenosa, média, argilosa, muito argilosa e siltosa.

A granulometria do solo é de grande importância para os estudos agrônômicos, principalmente para a tomada de decisão no que diz respeito ao manejo das terras agricultáveis e de sua fertilidade. Exerce considerável influência sobre a capacidade de retenção de água e na retenção e disponibilidade de nutrientes do solo, essenciais ao desenvolvimento das plantas (BAVER, 1973; KIEHL, 1979; MELLO et al., 2002; GONZÁLES & ALVES, 2005). Algumas propriedades físicas, como a consistência, estabilidade dos agregados, infiltração, aeração, condutividade elétrica e permeabilidade às raízes das plantas, também podem ser bastante influenciadas pela distribuição granulométrica do solo (ROBINSON, 1960; BUCKMAN, 1976; FORSYTE, 1985; VIEIRA et al., 1988; CAMARGO & ALLEONI, 1997; DUFRANC et al., 2004; MACHADO et al., 2006; MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2006). De acordo com Medina (1975a), a granulometria possui ainda grande importância para a descrição, identificação, documentação e mapeamento dos solos.

A capacidade de armazenamento de água, a retenção e a disponibilidade de nutrientes são fortemente influenciadas pela granulometria. A distribuição relativa das diferentes frações (areia, silte e argila) está diretamente relacionada às propriedades de superfície, que regem grande parte da dinâmica físico-química coloidal do solo e, como tal, dependem das atividades de superfície de suas partículas. Entretanto, solos da mesma classe granulométrica podem apresentar diferentes capacidades de armazenamento de água e nutrientes, em função das diferenças no teor de matéria orgânica, estrutura do solo e da composição mineralógica (MEDINA, 1975b; KIEHL, 1979; KITAMURA, 2004).

De acordo com Gavande (1972) e Kiehl (1979), os fenômenos de superfície estão relacionados ao tamanho da área exposta de uma partícula por sua unidade de massa (solo). Assim, à medida que um corpo se subdivide sua área exposta é aumentada, ou seja, aumenta sua superfície de contato.

A fração argila, por apresentar um alto grau de subdivisão, apresenta maior superfície

específica, sendo a que mais decisivamente determinará o comportamento físico-químico coloidal do solo, uma vez que nela ocorrerá a maior parte dos fenômenos de superfície (WUTKE & CAMARGO, 1975; REICHARDT & TIMM, 2004).

De acordo com Kiehl (1979), o complexo coloidal representado pela argila retém a água e armazena os nutrientes na forma adsorvida e não lixiviável pela chuva, evitando as perdas por lixiviação. Assim, a capacidade de retenção de água e nutrientes em geral tende a aumentar, para um mesmo solo, de forma diretamente proporcional com a quantidade de argila, e vice-versa (ROBINSON, 1960; RAIJ, 1981; VIEIRA et al., 1988; RESENDE et al., 2002). Por outro lado, Raij (1991) relatou que teores muito elevados de argila podem causar alguns problemas, afetando o adequado desenvolvimento das plantas, como, por exemplo, a formação de crostas na superfície do solo, a compactação e a deficiência de ar quando em solos com excesso de água, associados a uma drenagem inadequada.

De acordo com Baver et al. (1973), Jorge (1985), Reichardt & Timm (2004) e Resende et al. (2002), diferentemente da argila, a areia e o silte não mostram notável atividade físico-químico, parecendo ter sua importância mais relacionada com a macroporosidade e as possibilidades de atuarem como fornecedores de nutrientes para os solos. Medina (1975b) relatou que a fração silte, em alguns casos, pode apresentar certa atividade de superfície. Porém, tanto a areia quanto o silte possuem um papel secundário, uma vez que suas superfícies específicas são muito inferiores à da fração argila.

Os solos com elevados teores de areia e de silte muitas vezes possuem boa aeração para o crescimento das raízes. Contudo, geralmente, não são favoráveis ao desenvolvimento das plantas por apresentarem baixos teores de matéria orgânica e pequena capacidade de troca e retenção de íons e de água (KIEHL, 1979; RAIJ, 1981; RESENDE et al., 1988). Segundo Robinson (1960), o fato dos solutos retidos pela areia e pelo silte estarem em forma de capas superficiais, atribuem aos solos uma maior suscetibilidade à perda de água e conseqüentemente à lixiviação de nutrientes.

2.3. Atributos da relação massa/volume do solo

De acordo com Camargo & Alleoni (1997), as operações agrícolas muitas vezes modificam as características da relação massa/volume do solo, colocando em risco os seus processos dinâmicos. Dessa forma, os atributos derivados dessa relação merecem atenção, principalmente para adoção de um manejo adequado, uma vez que exercem grande influência na dinâmica entre as fases sólida, líquida e gasosa, podendo dificultar a penetração das raízes e o aproveitamento adequado da água e do ar, essenciais ao desenvolvimento vegetal.

2.3.1. Densidade da partícula sólida do solo

A densidade da partícula sólida do solo, também conhecida apenas como densidade da partícula, pode ser considerada como sendo a razão entre a massa de uma amostra deformada de solo, secada a 110 °C, e o volume de sólidos, sem considerar a parte porosa, normalmente dada em g/cm^3 , kg/dm^3 , t/m^3 e Mg/m^3 (ROBINSON, 1960; KIEHL, 1979; BLAKE & HARTGE, 1986; CAMARGO & ALLEONI, 1997).

Num primeiro momento, a densidade da partícula parece ser um atributo de menor importância para os estudos agrônômicos. Porém, de acordo com Kiehl (1979), a relação entre a densidade da partícula com as plantas é considerada de forma indireta. Isto porque este atributo está diretamente ligado à presença de certas quantidades de diferentes componentes minerais e/ou orgânicos que acabam por influenciar diretamente o comportamento das plantas. De acordo com Forsythe (1985, 28p.), o conhecimento da densidade da partícula tem grande importância para os cálculos da porosidade total, uma vez que sua expressão pode ser dada por:

$$\mathbf{PTc} = [1-(\mathbf{DS}/\mathbf{DP})] \quad (1)$$

onde: **PTc** é a porosidade total calculada do solo [m^3/m^3]; **DS** e **DP** são respectivamente a densidade global do solo e a densidade da partícula do solo [kg/dm^3].

Os valores da densidade da partícula dependem da quantidade e da constituição da parte mineral e da parte orgânica, variando pouco para um mesmo solo e não variando em grande escala em diferentes deles. Seu valor tende a se aproximar do da sua rocha de origem. O valor médio para a grande variedade de solos está em torno de 2,65-2,70 kg/dm^3 , isto porque essa faixa é da ordem da grandeza da densidade do quartzo e da maioria dos silicatos que ocorrem nos solos (ROBINSON, 1960; KIEHL, 1979; BLAKE & HARTGE, 1986; RAIJ, 1991; REICHARDT & TIMM, 2004).

A densidade da partícula ainda possibilita ter uma idéia da predominância de elementos orgânicos e inorgânicos no solo. De acordo com Raij (1991, 22p.), em solos derivados de rochas básicas, que contêm minerais pesados, a densidade da partícula pode chegar a 3,0 kg/dm^3 . Por outro lado, de acordo com Kiehl (1979, 95p.), solos com grandes teores de matéria orgânica podem apresentar valores inferiores a 1,90 kg/dm^3 .

2.3.2. Densidade global do solo

A densidade global do solo, também conhecida apenas por densidade do solo, refere-se à relação existente entre a massa de uma amostra indeformada de solo, secada a 110°C, e a soma dos volumes ocupados pelas partículas sólidas e pelos poros, normalmente dada em

g/cm^3 , kg/dm^3 , t/m^3 e Mg/m^3 (KIEHL, 1979; CAMARGO & ALLEONI, 1997; REICHARDT & TIMM, 2004). Por possuir estreita relação com outros atributos, a grande maioria das pesquisas converge para o fato de que com o seu aumento ocorre uma diminuição da porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica, absorção iônica, assim como com o conseqüente aumento da microporosidade e da resistência mecânica à penetração do solo. Tal fato viria a desencadear, no geral, uma diminuição da produtividade agrícola. (FREITAS, 1994; CAMARGO & ALLEONI, 1997; CARVALHO, et al., 1999; GOEDERT et al., 2002; FOLONI et al., 2003; MERCANTE et al., 2003; SECCO et al., 2005; MELO FILHO et al., 2006; MENDES et al., 2006).

De acordo com Robinson (1960), os valores da densidade global variam muito, sofrendo grandes alterações por parte do manejo incorreto, assim como dependem muito da textura e da estruturação, os quais influenciam o arranjo das partículas do solo. Reichardt & Timm (2004) relataram valores gerais entre 1,40 e 1,80 kg/dm^3 . Já Camargo & Alleoni (1997) fizeram referências de valores entre 1,20 e 1,40 kg/dm^3 para solos arenosos, e de 1,00 e 1,20 kg/dm^3 aos argilosos. Kiehl (1979) apontou amplitudes médias variando entre 1,25 - 1,40 kg/dm^3 , para solos arenosos, e de 1,00 - 1,25 kg/dm^3 , para argilosos, considerando também que densidades entre 1,70 e 1,80 kg/dm^3 dificultam a penetração das raízes, e que solos com texturas diversas e com densidades de 1,90 kg/dm^3 ou mais, ou ainda, solos argilosos, com densidades entre 1,60 e 1,70 kg/dm^3 , podem não apresentar desenvolvimento radicular. Bowen (1981) considerou como crítico o valor de densidade do solo ao redor de 1,55 kg/dm^3 , para solos franco-argilosos e argilosos, e de 1,85 kg/dm^3 , para arenosos e franco-arenosos.

2.3.3. Porosidade total do solo

Sendo o solo, do ponto de vista físico-químico coloidal, um sistema trifásico disperso, a caracterização de sua porosidade total é de grande importância para a adoção do manejo adequado. Isso porque, este sistema está estreitamente ligado à dinâmica do armazenamento e movimento de água e de circulação de ar no seu interior, essenciais aos processos bioquímicos das plantas, sobretudo àqueles relacionados com a produtividade final. O processo de aeração do solo permite a troca do seu ar com a atmosfera, evitando a deficiência de oxigênio nos fenômenos respiratórios e de síntese das plantas, excluindo assim as possibilidades de competição entre os microorganismos e as raízes das plantas e condições que favoreçam o aparecimento de doenças. Por outro lado, a água do solo é o principal componente do protoplasma vegetal, sendo sua presença obrigatória nas reações do

metabolismo, além de atuar especificamente como meio de transporte de nutrientes na planta e entre o sistema solo-planta (ROBINSON, 1960; KIEHL, 1979; HILLEL, 1982; RESENDE et al., 1988; TAIZ & ZEIGER, 2004; EPSTEIN & BLOON, 2006). Ainda, de acordo com Mercante et al. (2003) e Secco et al. (2005), a porosidade total tem apresentado grande relação com a compactação e resistência à penetração do solo, as quais tendem a aumentar sua redução.

Em relação ao solo agrícola ideal, sua porosidade total, definida como sendo a porção do volume do solo não ocupada pelas suas partículas sólidas, dada em m^3/m^3 , é considerada ideal quando apresentar 50% do volume, ou seja, $0,500 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Dela fazem parte a microporosidade, que é responsável pelo armazenamento de água, variando entre 0,250 e $0,330 \text{ m}^3/\text{m}^3$, e a macroporosidade, representada pelo volume de poros responsáveis pela aeração das raízes, variando de 0,170 a $0,250 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Por outro lado, valores de macroporosidade inferiores a $0,100 \text{ m}^3/\text{m}^3$ podem interferir no desenvolvimento das raízes, a ponto de reduzir substancialmente a produtividade agrícola (BAVER et al., 1973; KIEHL, 1979).

A porosidade total do solo geralmente diminui em profundidade, havendo casos onde existem zonas intermediárias compactadas que apresentam baixos valores. Na prática, ela tende a ser menor nos solos arenosos ($0,350\text{-}0,500 \text{ m}^3/\text{m}^3$) do que nos argilosos ($0,400\text{-}0,600 \text{ m}^3/\text{m}^3$). Contudo, dependendo da granulometria, o solo pode ter uma porosidade total mínima de $0,300 \text{ m}^3/\text{m}^3$ e máxima de $0,800 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (ROBINSON, 1960; BAVER et al., 1973; KIEHL, 1979; RESENDE et al., 2002; REICHARDT & TIMM, 2004). De acordo com Raij (1981), os solos arenosos geralmente são bem arejados e com drenagem mais rápida. Contudo, podem apresentar problemas relacionados com a capacidade de retenção de água. Já os argilosos possuem maior capacidade de retenção de água e maior porosidade total, apresentando, algumas vezes, problemas de aeração.

2.4. A cultura do milho

O milho é uma planta da família *Gramineae*, da espécie *Zea mays* L. Em função do potencial produtivo e químico-nutritivo constitui-se num dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo. No Brasil, suas diversas utilizações são da ordem de 63,5% para o consumo animal; 10,0% industrial; 3,6% humano; 13,6% exportação; 8,7% outros, enquanto que as perdas representam 0,6%. Atualmente o país destaca-se como o terceiro maior produtor. Porém, sua produtividade média é consideravelmente baixa, da ordem de 3352 kg/ha. Para silagem, o milho que é considerado a forrageira de melhor

qualidade, sendo muito utilizado na alimentação de gado leiteiro, e mais recentemente de gado confinado para engorda, apresenta produtividade em torno de 20-30 t/ha de massa verde, equivalendo a 8-12 t/ha de massa seca. Entretanto, há casos em que seu potencial de produção pode ser superior a 20 t/ha de massa seca, dependendo da fertilidade do solo, do cultivar e do clima (FAHL et al., 1998; CRUZ et al., 2001; EMBRAPA, 2006a).

Em termos pedo-edafológicos, são apontados, como os atributos físicos mais importantes para o desenvolvimento do milho, a estrutura e a granulometria, uma vez que estão diretamente relacionados com a drenagem e a capacidade de retenção de água e de nutrientes (OLSON & SANDER, 1988). De acordo com EMBRAPA (2006a), pelo fato de o milho ser uma planta que apresenta grande potencial de desenvolvimento de seu sistema radicular, ele necessita de um solo profundo, bem como os atributos de relação massa/volume do solo devem apresentar condições favoráveis ao seu desenvolvimento, não dificultando a penetração das raízes e nem o aproveitamento dos nutrientes e da água disponíveis.

2.5. Principais conceitos da geoestatística

As diversas interações entre variáveis do solo fazem com que a variabilidade espacial, horizontal e/ou vertical, seja algo inquestionável. Assim, quando uma determinada propriedade do solo varia de um local para outro, obedecendo algum grau de organização, expressa pela dependência espacial, sai de cena a chamada estatística clássica, que supõe que as variáveis aleatórias são independentes entre si, passando tal condição a ser priorizada como objeto de estudo da geoestatística (ZALAVSKY & ROGOWSKI, 1969; UGOLINI & EDMONDS, 1983; TRANGMAR et al., 1985; PONTES, 2002).

De acordo com Ribeiro Júnior (1995), a geoestatística aparece como um grupo de procedimentos estatísticos aplicável a alguns problemas onde os dados são espacialmente referenciados. Ela surgiu na África do Sul, quando Krige (1951) concluiu, por meio de dados de concentração de ouro, que só conseguiria encontrar sentido nas variâncias entre eles se fossem levadas em consideração às distâncias entre as amostragens. Tal fato constituiu-se na base da *teoria das variáveis regionalizadas*, que ficou definida como uma função espacial numérica, variável de um local para outro, com uma continuidade aparente (dependência espacial), onde a variação não pode ser representada por uma função matemática simples (MATHERON, 1963). A geoestatística vem apresentando aplicação crescente na avaliação da variabilidade espacial de atributos de interesse em ciências agrárias, permitindo a interpretação dos resultados com base na estrutura da sua variabilidade natural, considerando a existência da dependência espacial dentro do espaço de amostragem, principalmente da

interação entre os atributos físicos do solo e a produtividade das culturas (LIBARDI et al., 1986; PREVEDELLO, 1987; CARVALHO, 1991; VIEIRA, 1997; ARAÚJO, 2002).

Na geoestatística, a estimativa da dependência espacial ou temporal entre as amostras vizinhas pode ser obtida por meio de autocorrelações. Quando a amostragem envolve duas direções, a ferramenta de estimativa da dependência entre as amostras é o semivariograma, pressuposto da estacionaridade da hipótese intrínseca, que é a representação gráfica do ajuste de modelos matemáticos aos dados observados. O semivariograma define os parâmetros para a estimativa de valores para locais não amostrados, os quais são utilizados na técnica de interpolação denominada de krigagem. Por outro lado, o semivariograma cruzado é uma ferramenta geoestatística que permite verificar o relacionamento entre as variabilidades espaciais de duas variáveis de dados espacialmente medidos. Ele é a representação gráfica da dependência espacial existente entre duas variáveis que apresentem correlação espacial entre si. Desta forma, são definidos também os parâmetros para a estimativa da distribuição espacial dos valores para locais não amostrados os quais são utilizados na técnica de interpolação denominada de cokrigagem (RIBEIRO JUNIOR, 1995; SOUZA et al., 1997; CARVALHO et al., 1998; ZIMBACK & CATANEO, 1998; VIEIRA, 2000). De acordo com o modelo teórico indicado em GS⁺ (2004), o semivariograma apresenta como parâmetros principais: o **efeito pepita** (C_0), o **patamar** (C_0+C), a **variância estrutural** (C), e o **alcance** (A_0), os quais são apresentados na Figura 4.

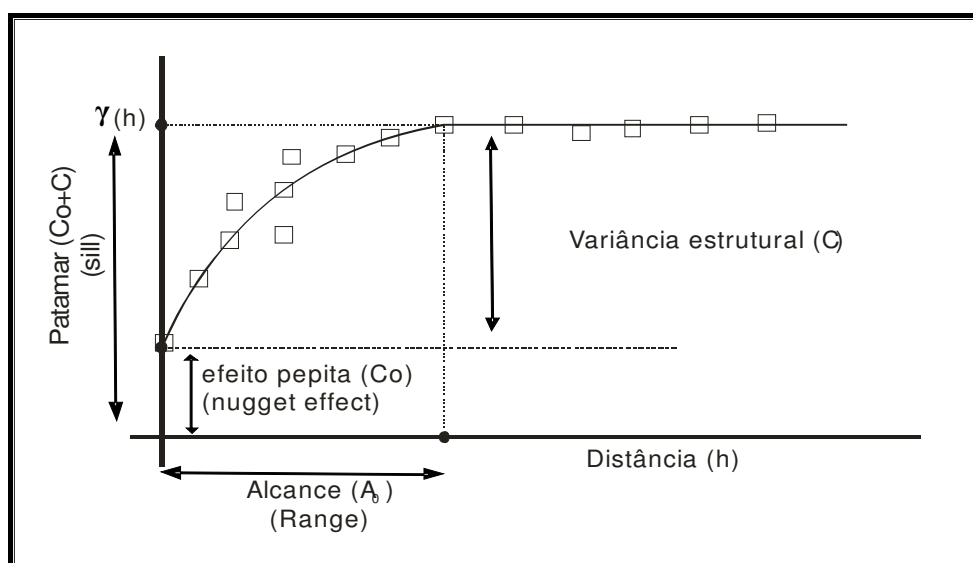


Figura 4: Modelo de semivariograma experimental e teórico

O **efeito pepita** refere-se ao erro ou à variabilidade não explicada. Ele mede duas parcelas da variabilidade total: a) a de uma pequena escala não abrangida pela rede de amostragem; e b) a da variabilidade à escala da amostra, induzida por erros não sistemáticos de amostragem. Quando o efeito pepita apresentar valor constante e igual ao patamar, tem-se o chamado **efeito pepita puro**, que representa a dependência espacial nula, e os dados não podem ser analisados pela geoestatística. Neste caso, a dependência espacial, se existir, só será manifestada à distância ou tempo menor do que o menor espaçamento entre as amostras (SOARES, 2000; PONTES, 2002; GUIMARÃES, 2004).

O **patamar** é o valor onde a semivariância da amostra se estabiliza e passa a ser constante. Ele representa a variância da variável aleatória, correspondendo à variância dos dados da estatística convencional. A **variância estrutural** representa a diferença entre o nível definido pela semivariância inicial (efeito pepita) e pelo patamar. Assim, diferentemente do efeito pepita (erro), a variância estrutural corresponde ao acerto. Já ao **alcance** refere-se à distância alcançada pelo patamar, demonstrando, no geral, o limite de grandeza da dependência espacial do atributo. Ele representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si, por meio da dependência espacial. Assim, medidas localizadas em distâncias maiores do que o alcance tem distribuição aleatória no espaço, sendo independentes entre si (TRANGMAR et al., 1985; VIEIRA, 2000; PONTES, 2002; RODRIGUES, 2002; SCHAFFRAT, 2006).

A variabilidade espacial pode ser representada por mapas, confeccionados a partir de estimativas efetuadas à variável estudada por meio da interpolação por krigagem, ou a partir de estimativas de duas variáveis que se correlacionem (primária e secundária) por meio da interpolação por cokrigagem. Elas podem ser descritas como técnicas que minimizam a variância estimada por meio de análise de regressão, levando-se em conta a dependência entre os dados distribuídos no espaço. Essas técnicas de montagem são embasadas em estimadores de variáveis regionalizadas, envolvendo estimação de pontos, ou áreas, e assumindo que as amostras são normalmente distribuídas e estacionadas. Desta forma, são capazes de prever o comportamento do fenômeno de estudo (TRAGMAR et al., 1985; RIBEIRO JÚNIOR, 1995; TAKEDA, 2000). Assim, as interpolações por krigagem, e por cokrigagem, estão fortemente associadas aos modelos de semivariogramas ajustados, os quais podem ser avaliados por meio da validação cruzada. Na sua análise, cada ponto contido dentro do domínio espacial é removido individualmente, sendo seu valor estimado por meio da krigagem como se ele não existisse. Portanto, pode-se construir um gráfico de valores estimados *versus* valores observados, para todos os pontos. Do conjunto de duplas (valores estimados e valores

observados) de todas as amostras, calculam-se dados estatísticos básicos (média, variância dos desvios), com o objetivo de validar o modelo escolhido para o semivariograma (SOARES, 2000).

O coeficiente de correlação (r) da validação cruzada representa uma medida da eficiência do ajuste, dado pela técnica da soma dos quadrados dos desvios, representando a equação de regressão linear. Um ajuste perfeito teria um coeficiente de regressão igual a um e a linha do melhor ajuste coincidiria com o modelo perfeito, isto é, com o coeficiente linear igual a zero e o angular igual a um (GS⁺, 2004).

2.6. A geoestatística aplicada aos estudos da granulometria e das relações massa/volume do solo

A geoestatística como ferramenta tem sido bastante utilizada com a finalidade de estudar a variabilidade espacial de atributos granulométricos e daqueles da relação massa/volume do solo. Para tanto, são utilizados os mais variados tipos de redes de coleta de dados, com tamanhos bastante variados, os quais são adequados a cada tipo de estudo que se pretende realizar. Desta forma, a variabilidade dos dados dos atributos do solo, tal como os parâmetros da variabilidade espacial (os modelos de ajuste e os alcances), tem apresentado uma enorme gama de valores, sendo esse conhecimento de grande importância para tal estudo.

2.6.1. Variabilidade dos dados de granulometria e das relações massa/volume do solo

De acordo com Pimentel-Gomez & Garcia (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada conforme a magnitude do seu coeficiente de variação (CV). Assim, apontaram as seguintes classes: de $0\% < CV \leq 10\%$ (baixo), $10\% < CV \leq 20\%$ (médio), $20\% < CV \leq 30\%$ (alto) e $CV > 30\%$ (muito alto).

Nesse sentido, a pesquisa vem atualmente apresentando diferentes grandezas dos coeficientes de variação (CV) para os atributos granulométricos do solo, como o trabalho de Vieira (1997), realizado em um Latossolo Roxo de Campinas (SP), que o apontou com magnitudes baixa (argila) e média (silte). Macedo et al. (1998), avaliando algumas propriedades físicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo do município de Seropédica (RJ), encontraram-no com 19,9% (areia), 29,6% (silte), e 54,5% (argila). Sousa et al. (1999), em um estudo no município de São José do Bonfim (PB), constataram variabilidade média para as frações argila e areia. Gonçalves et al. (2000), estudando um Argissolo Vermelho-Amarelo,

indicaram coeficientes de variação de 6,9% (areia), 11,2% (silte) e, de 28,0% (argila). Coelho Filho et al. (2001), em um trabalho num pomar de lima ácida, encontraram valores com variabilidade baixa (argila) e média (silte e areia). Gonçalves et al. (2001), estudando a granulometria de um Argissolo Vermelho, encontraram coeficientes de variação de 10,8; 15,6 e 13,6%, respectivamente para a areia, silte e argila. Eguchi et al. (2002) estudando um solo hidromórfico, indicaram coeficientes de variação de 48,9; 33,4 e 35,8% respectivamente para a areia, o silte e a argila. Mello (2002), ao estudar os atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) e de um Latossolo Vermelho (LV), encontrou coeficientes de variação entre 38,4 e 38,7% (areia), 14,1 e 16,3% (argila) e 32,8 e 33,6% (silte), para LV; enquanto que para o PVA, os valores encontrados foram entre 7,1 e 11,9% (areia), 22,5 e 30,9% (argila) e 45,1 e 53,2% (silte). Rabah (2002), em um estudo no município de Brotas (SP), apontou coeficientes de variação de 10,6 e 8,8% (areia) e de 59,2 e 47,9% (argila). Abreu et al. (2003), trabalhando com dados de um Argissolo Franco–Arenoso, indicaram coeficientes de variação de 6,9% (areia), 11,2% (silte), e de 27,9% (argila). Souza et al. (2003), estudando algumas propriedades físico-químicas de um solo de Jaboticabal, apontaram coeficientes de variação de 20,9% para silte e de 9,3-10,5 para a fração argila. Kitamura (2004), estudando a granulometria de um Latossolo Vermelho de Selvíria (MS), encontrou uma variabilidade baixa (argila) e média (silte e areia). Souza et al. (2004b), trabalhando com dados de atributos granulométricos, encontraram valores baixos (argila) e médios (silte e areia). Machado et al. (2006), estudando as correlações entre a fração argila com a condutividade elétrica em um Latossolo Vermelho, apontaram coeficientes de variação entre 8,0 e 27% para a argila. Montezano et al. (2006), estudando a fertilidade de um Latossolo em Planaltina (GO), encontraram coeficientes de variação de 49,93% (areia), 24,16% (silte) e de 14,86% (argila).

Ao que se refere aos atributos de relação massa/volume do solo, trabalhos como o de Queiroz et al. (1999), desenvolvido em um Gleissolo, mostraram que os dados de porosidade total se ajustaram a uma distribuição normal e apresentaram média variabilidade. Carvalho et al. (2002), estudando alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho de Selvíria (MS), revelaram que a variabilidade dos atributos foi baixa para a porosidade total e densidade do solo. Carvalho et al. (2003), pesquisando alguns atributos físicos de um solo do município de Vitória Brasil (SP), apontaram uma variabilidade dos dados de 10,5 e 8,3% respectivamente para a porosidade total e a densidade do solo. Mesquita et al. (2003), estudando alguns atributos físicos de solo em uma área experimental do IAC (Piracicaba-SP), encontraram dados com coeficientes de variação de 7%, para a densidade do solo e a porosidade total. Johann et al. (2004), em um estudo dos atributos físicos do solo sob parcelas

sem manejo localizado (SML) e parcelas com manejo localizado (CML), obtiveram coeficientes de variação de 4,2% em ambos os casos. Souza et al. (2004a), desenvolvendo um trabalho em um Latossolo Vermelho de Guariba (SP), indicaram coeficientes de variação baixos para densidade do solo (5,5 - 8,6%). Souza et al. (2004c), estudando os atributos físicos de um Latossolo Vermelho, obtiveram coeficientes de variação, ora baixo ora médio, para a porosidade total, e baixo para a densidade do solo. Andrade et al. (2005), desenvolvendo um trabalho no município de Souza (PB), encontraram para a densidade do solo baixos valores de coeficiente de variação (5,2, - 7,0%). Grego & Vieira (2005), em estudo da densidade de um Latossolo Vermelho de Campinas (SP), indicaram coeficientes de variação entre 10,9 e 9,7%. Milani et al. (2005), estudando a variabilidade espacial da porosidade total de um Latossolo Vermelho da Região Oeste do Paraná, encontraram coeficientes de variação de 3,5% em diversas profundidades estudadas. Melo Filho et al. (2006), estudando a densidade de um Latossolo Amarelo, encontraram distribuição normal e baixo coeficiente de variação para os dados do atributo. Schaffrath (2006), estudando a densidade global e a porosidade total em Latossolo Vermelho obteve uma variação da ordem de 6,6 a 7,4%, para o sistema de plantio direto, e de 8,2 a 11,5% para o plantio convencional. Siqueira (2006), caracterizando diferentes métodos de amostragem de atributos físicos em uma área do Centro Experimental do IAC em Campinas (SP), apontou, para os dados de densidade do solo e de porosidade total, coeficientes de variação de 7,1 e 7,2% respectivamente.

2.6.2. Variabilidade espacial da granulometria e das relações massa/volume do solo

Os diversos trabalhos sobre variabilidade espacial de atributos físicos do solo têm sido realizados sob diferentes graus de escala, mostrado desta forma, uma gama muito variada de resultados dos parâmetros semivariográficos. Assim, Souza et al. (1997), estudando a variabilidade espacial da granulometria do solo, mostraram semivariogramas com o modelo esférico (silte e argila) e exponencial (areia), com alcances de 18,0 m. Vieira (1997), com o objetivo de estudar a variabilidade espacial de atributos granulométricos do solo, demarcou uma área com 49 pontos de amostragem, encontrando dependência espacial para todos os atributos. Salviano et al. (1998) instalaram uma rede contendo 140 pontos e observaram valores de alcances para areia, silte e argila, variando entre 25,0 a 32,0 m. Sousa et al. (1999), trabalhando com uma rede contendo 90 pontos, observaram dependência espacial para os atributos estudados, com alcances variando de 25,0 a 60,0 m para a fração silte. Gonçalves et

al. (2000) estudando a variabilidade espacial da granulometria em um Argissolo Vermelho-Amarelo instalou uma rede contendo 115 pontos. Encontraram semivariogramas exponencial para os teores de areia, silte e argila. Gonçalves et al. (2001), estudando a variabilidade espacial das frações granulométricas de um Argissolo Vermelho, obtiveram uma modelagem de semivariograma escalonado ajustada exponencialmente, com alcance de 25,0 m. Barbieri et al. (2002), estudando a variabilidade espacial de atributos físicos do solo, obtiveram alcances de 230,0 m (argila), 72,7 m (silte) e 105,6 m (areia). Eguchi et al. (2002), estudando a variabilidade espacial da granulometria ao longo de uma transeção de 100 m, encontraram ajustes dos modelos esférico, gaussiano e exponencial, com alcances de 15,0, 49,5 e 14,5 m respectivamente para areia, argila e silte. Gonçalves & Folegatti (2002), trabalhando em um Argissolo Vermelho, indicaram ajuste semivariográfico esférico, com um alcance de 60,0 m para os teores de areia, silte e argila. Mello (2002), estudando a variabilidade espacial da granulometria do solo, coletou 88 pontos em um Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) e 128 em um Latossolo Vermelho (LV). Obteve ajustes semivariográficos esférico e exponencial, com alcances variando de 2680,0 a 11330,0 m (LV) e de 567,0 a 3560,0 m (PVA). Rabah (2002), estudando os alcances da dependência espacial de atributos físicos do solo, coletou dados em 46 pontos amostrais, obtendo ajustes semivariográficos exponencial (argila), com alcances variando entre 10670,0 e 12660,0 m, e esférico (areia), com alcance de 17360,0 m. Roque et al. (2002), estudando a variabilidade espacial de atributos físicos do solo, encontraram alcances de 30,0 m (argila), 17, m (silte) e 18,0 m (areia). Abreu et al. (2003) coletaram dados granulométricos em cinco transeções em uma área de 1,51 ha. Encontraram ajustes semivariográficos exponencial (areia e silte) e esférico (argila), com alcances de 67,4, 45,3 e 39,0 m respectivamente para areia, silte e argila. Souza et al. (2003), utilizando uma rede contendo 412 pontos em uma área de 93 ha, indicaram ajustes semivariográficos gaussiano e esférico para silte e esférico para argila, com alcances de 204,6 e 369,6 m (silte) e de 561,0 m (argila). Kitamura (2004), avaliando a variabilidade espacial da granulometria em um Latossolo Vermelho, utilizou uma rede contendo 135 pontos amostrais. Obteve moderada dependência espacial para a maioria dos atributos, com alcances de 103,1 m (areia), de 19,8 e 85,5 m (silte) e de 86,2 e 87,4 m (argila). Souza et al. (2004b), em uma rede com 306 pontos, observaram a ocorrência de dependência espacial com grau moderado para todas as variáveis granulométricas do solo, apresentando alcances de 366,8; 287,7; 199,6 e 157,0 m, respectivamente para areia grossa, areia média, areia fina e silte. Machado et al. (2006), trabalhando com uma rede contendo 107 pontos amostrais, encontraram ajuste semivariográfico gaussiano para a fração argila, com alcances variando entre 66-117 m.

Carvalho et al. (2002), estudando a variabilidade espacial de alguns atributos físicos em uma rede contendo 103 pontos, relataram a dependência espacial, para densidade global (DS) e porosidade total do solo (PT), com alcances variando de 1,0 a 13,1 m (DS) e de 8,6 a 23,7 m (PT). Carvalho et al. (2003), pesquisando a variabilidade espacial de alguns atributos físicos e químicos por meio de uma rede com 156 pontos amostrais, apresentaram resultados indicando moderada dependência para densidade e a porosidade total do solo, cujos alcances variaram de 2,6 a 4,3 m respectivamente. Johann et al. (2004) realizaram um estudo objetivando avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo. Obtiveram ajustes com modelos semivariográficos gaussiano e exponencial, para densidade do solo, respectivamente com alcances de 60,0 e 126,0 m. Souza et al. (2004a), avaliando a variabilidade espacial da densidade de um Latossolo Vermelho, coletaram amostras em uma rede contendo 100 pontos. Observaram moderado e forte grau de dependência espacial, com ajuste semivariográfico esférico e exponencial, respectivamente com alcances da ordem de 20,0 e 70,0 m. Souza et al. (2004c), avaliando a variabilidade espacial de atributos físicos por meio de uma rede geoestatística contendo 100 pontos, obtiveram ajuste esférico e exponencial para porosidade total, com alcances variando entre 27 e 80 m. Andrade et al. (2005), com o objetivo estudar a variabilidade espacial da densidade do solo, realizaram testes de campo em 40 pontos amostrais. Relataram que a densidade do solo manifestou dependência espacial, apresentando estrutura esférica e exponencial, com alcances variando de 46,0 a 255,1 m. Grego & Vieira (2005), estudando a variabilidade espacial da densidade de um Latossolo Vermelho, comprovaram dependência espacial moderada e forte e modelo de ajuste semivariográfico esférico, com alcances de 10,0 a 11,0 m. Milani et al. (2005) estudaram a variabilidade espacial da porosidade total por meio de uma rede com 103 pontos. Obtiveram um ajuste semivariográfico esférico, com alcance de 12,3 m. Schaffrath (2006), com o objetivo de descrever a variabilidade espacial de atributos físicos do solo, amostrou 128 pontos em uma rede. Para o atributo densidade do solo, o modelo semivariográfico ajustado foi o esférico, com alcances da dependência espacial variando de 7,5 a 8,5 m, enquanto que para porosidade total foram obtidos os modelos de ajuste esférico e exponencial, com alcance variando de 9,3 a 11,5 m. Siqueira (2006), analisando a variabilidade espacial de atributos físicos do solo, estabeleceu uma rede com 302 pontos totais. Especificamente para os dados de densidade do solo e porosidade total, mostrou ajuste semivariográfico esférico (densidade do solo), com alcance de 65,0 m e esférico (porosidade total), com alcance de 85,0 m.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do local de origem dos dados experimentais

O experimento foi conduzido em 2005 na Fazenda Bonança, pertencente à Agropecuária Damha, localizada no município de Pereira Barreto, estado de São Paulo, Brasil, na latitude 20°40'12"S e longitude 51° 01' 50" W, com precipitação e temperatura médias anuais respectivamente de 1300 mm e 24,1°C. O tipo climático local é o A_w, segundo classificação de Koeppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo ⁽¹⁾ representativo da área estudada, classificado de acordo com EMBRAPA (2006b), foi um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico franco-arenoso, álico, epicompactado, fortemente ácido, cujos dados analíticos se encontram no Quadro 1.

3.2. Implantação e condução da cultura do milho

A planta-teste trabalhada foi o milho *safrinha* outonal (*Zea mays* L) (Figura 5), com a finalidade de produção de massa verde para forragem destinada à alimentação bovina. Sua semeadura foi sobre uma área de pastagem irrigada (*Brachiaria brizanta*, cv Marandu), anteriormente ocupada por 6 anos com bovinos no sistema rotacionado intensivo. A dessecagem foi feita com o herbicida *glyphosate* na dosagem de 1,8 kg/ha (pa), em 20/01/05. O híbrido simples foi o 30F80, cuja semeadura foi realizada no dia 10/02/05, no sistema plantio direto, numa área irrigada por pivô central. Seguiram-se as instruções agrícolas para as principais culturas do estado de São Paulo (FAHL et al., 1998), tomando-se por base a análise química inicial da fertilidade do solo para fins de adubação, realizada em 03/02/05. (Quadro 1). Assim, o espaçamento entre linhas foi de 0,85 m, com uma densidade de 5,5 sementes por metro na linha de semeadura. Na adubação de semeadura foram utilizados 320 kg/ha da fórmula 08-28-16. Na de cobertura foram feitas duas aplicações de uréia, uma em 28/02/05 e a outra em 16/03/05,

⁽¹⁾ CARVALHO, M. P. Comunicação pessoal. 2007. (Depto. de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos – Faculdade de Engenharia-UNESP, Campus de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil).

Quadro 1: Cor, Análise granulométrica e química de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

(continua...)

Profundidade	Cor		Composição granulométrica			Relação silte/argila	Análise química		
	seco	úmido	areia	silte	argila		pH		
m		g/kg.....			-	CaCl ₂	KCl	H ₂ O
0 - 0,20	2,5YR 4/4	2,5YR 3/3	814	76	110	0,690	5,6	5,2	6,5
0,20 - 0,40	2,5YR 4/6	2,5YR 3/4	774	81	145	0,559	4,4	4,1	5,6
0,40 - 0,60	2,5YR 4/8	2,5YR 3/6	739	89	172	0,517	4,3	4,0	5,1
0,60 - 0,80	2,5YR 4/8	2,5YR 3/6	724	91	185	0,492	4,2	4,0	4,8
0,80 - 1,00	2,5YR 4/8	2,5YR 3/6	722	91	187	0,487	4,3	4,1	4,9
1,00 - 1,20	2,5YR 4/8	2,5YR 3/6	708	97	195	0,498	4,4	4,3	4,9

Profundidade	Análise química												
	Δ pH	P	MO	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺ +Al ⁺³	Al ⁺³	SB	CTC	V%	m%	
m	-	mg/dm ³	g/dm ³mmol/dm ³								-%	-%
0 - 0,20	-1,3	6	18	1,4	15	9	16	0	25,4	41,4	61	0	
0,20 - 0,40	-1,5	1	11	1,2	6	4	26	3	11,2	37,2	30	21	
0,40 - 0,60	-1,1	1	9	0,6	5	2	26	5	7,6	33,6	23	40	
0,60 - 0,80	-0,8	1	7	0,2	4	2	25	6	6,2	31,2	20	49	
0,80 - 1,00	-0,8	1	5	0,2	3	3	22	5	6,2	28,2	22	45	
1,00 - 1,20	-0,6	1	5	0,3	2	1	20	4	3,3	23,3	14	55	



Figura 5: Vista geral da cultura do milho ao final do desenvolvimento (29/04/05).

ambas nas dosagens de 106 kg/ha do adubo, assim como uma aplicação de cloreto de potássio, na dosagem de 150 kg/ha do adubo, em 03/03/2005.

3.3. Implantação e caracterização da rede experimental

Foram definidas, dentro do referido pivô, as direções dos eixos cartesianos da rede geoestatística experimental (Figura 6), numa área entre dois terraços agrícolas. Assim, o eixo x foi estabelecido em nível enquanto que o y ficou no sentido do declive. Tal rede ficou constituída com um total de 125 pontos amostrais, distribuídos numa área de 2500m² (50 m x 50 m), com declividade média de 0,025 m/m.

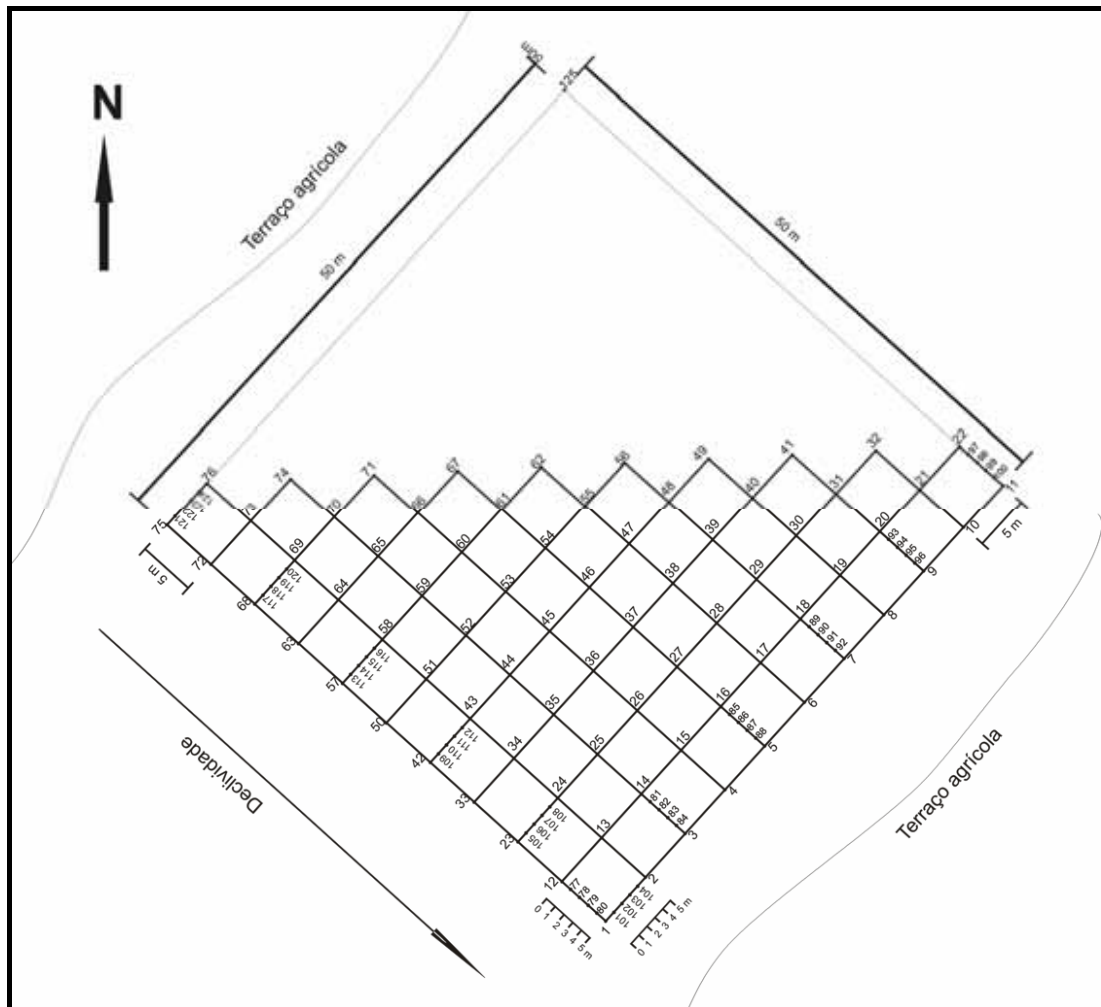


Figura 6: Esquema da rede experimental alocada na Fazenda Bonança, município de Pereira Barreto (SP).

O espaçamento utilizado entre os pontos amostrais da grande rede foi de 5 m, enquanto que na de refinamento foi de 1 m. Essa última foi estabelecida com a finalidade de

detectar alcances da dependência espacial para condições de espaçamentos menores do que os da grande rede. Desta forma, as áreas úteis utilizadas para a coleta de dados, tanto do solo quanto da planta, ficaram estabelecidas, no entorno de cada ponto amostral, da seguinte forma: a) na grande rede, com 3,40 m de largura (4 linhas de plantio) por 3,40 m de comprimento no sentido da linha, numa área de 11,56 m², e b) na de refinamento disposta no eixo *x*, com 2,55 m de comprimento (3 linhas de plantio) por 1,00 m de largura no sentido da linha, numa área de 2,55 m², e no eixo *y*, com 1,70 m de comprimento (2 linhas de plantio) por 1,50 m de largura no sentido da linha, numa áreas de 2,55 m².

3.4. Coleta e metodologia de determinação dos atributos do solo

Junto a cada um dos 125 pontos da rede, foram tomadas amostras indeformadas e deformadas do solo, individualmente coletadas. Os atributos avaliados foram: a granulometria (teores de areia, silte e argila) em g/kg; a densidade da partícula (kg/dm³), a densidade do solo (kg/dm³), a porosidade total determinada (m³/m³) e a porosidade total calculada (m³/m³). Todos os atributos foram coletados nas profundidades de zero-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m. Assim, foram identificados em virtude da camada de coleta da seguinte forma: para a camada de zero-0,10 m, AR1 (areia), SI1 (silte), AG1 (argila), DP1 (densidade da partícula), DS1 (densidade do solo), PT1 (porosidade total determinada) e PTc1 (porosidade total calculada); para a camada de 0,10-0,20 m foram: AR2, SI2, AG2, DP2, DS2, PT2 e PTc2, e, finalmente, para a camada de 0,20-0,30 m: AR3, SI3, AG3, DP3, DS3, PT3 e PTc3.

As análises do solo foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP). A metodologia utilizada na análise granulométrica foi a da pipeta com o dispersante químico NaOH 1N. Já, para as determinações da densidade da partícula, utilizou-se o método do balão volumétrico, com álcool etílico como líquido penetrante. A densidade do solo e a porosidade total foram determinadas pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), ao passo que a porosidade total calculada (PTc) foi determinada por meio da Equação (1), apresentada por Forsythe (1985).

3.5. Coleta e análise dos atributos da planta

Os atributos da planta coletados no campo, cujo estágio fenológico se encontrava entre o R4 e o R5, foram: a altura das plantas (ALT), a altura de inserção da primeira espiga (AME), o diâmetro do colmo (DMC), coletados em 27/04/2005 e a produtividade da massa verde de milho a qual foi destinada para forragem (MSF), coletada em 30/04/05.

A ALT consistiu no valor médio da altura de 10 plantas, tomadas ao acaso dentro da área útil de cada ponto amostral. Da mesma forma, a AME consistiu na média obtida da altura de inserção da primeira espiga das 10 plantas, tomadas ao acaso dentro da área útil de cada ponto amostral. O DMC foi representado pela média do maior valor do diâmetro do colmo na altura de corte, para cinco plantas, as quais foram coletadas aleatoriamente dentro da área útil de cada ponto amostral. Para tanto, foi utilizado um paquímetro.

Para a produtividade de massa verde foi efetuado o seguinte procedimento: foram coletadas todas as plantas da área útil de cada ponto amostral, por meio de corte a aproximadamente 30 cm de altura do solo, efetuando-se a pesagem para o conhecimento da massa úmida total de cada ponto amostral. Os tamanhos das áreas úteis, de cada ponto amostral (**AP**), corresponderam a 2,55 m² (rede fina) e 11,56 m² (grande rede). Posteriormente, para obtenção dos valores de massa seca da forragem (**MSF**), utilizou-se um fator de correção (**FC**), o qual representou a relação massa seca/verde para cada ponto amostral, sendo obtido da seguinte forma: foram trituradas 10 plantas escolhidas aleatoriamente dentre todas as coletadas em cada área útil do ponto amostral. Assim, retirou-se uma pequena amostra a qual foi imediatamente pesada (massa verde). Posteriormente, o material foi devidamente acondicionado em sacos de papel e levado para o laboratório, onde foi posto em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65°C por 72 horas até atingir peso seco constante, sendo novamente pesado (massa seca).

Portanto, a expressão que calculou o atributo trabalhado da planta (**MSF**), individualmente para cada ponto amostral, foi dada por:

$$\mathbf{MSF} = (\mathbf{PU/AP}) \cdot \mathbf{FC} \cdot 10^4 \quad (2)$$

onde: **MSF** representou a produtividade de massa seca da forragem num determinado ponto amostral (kg/ha); **PU** representou o peso úmido total das plantas contidas na área designada por tal ponto (kg); **AP** representou a área útil do ponto amostral (m²); **FC** representou o fator de correção da produtividade de massa verde para a produtividade de massa seca da forragem de cada ponto amostral, o qual ficou definido pela relação massa seca/úmida de uma amostra triturada proveniente de 10 plantas tomadas ao acaso dentro de cada ponto de coleta e, 10⁴ foi o fator de conversão de kg/m² para kg/ha.

3.6. Análise estatística dos dados

A análise estatística dos atributos estudados, realizada no Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), consistiu da análise descritiva inicial, análise de regressão e análise geoestatística.

3.6.1. Análise descritiva inicial dos dados

Com a utilização do software estatístico SAS (SCHLOTZHAVER & LITTELL, 1997), foram calculados a média, a mediana, os valores mínimo e máximo, o desvio padrão, o coeficiente de variação, curtose e assimetria, assim como efetuada a análise de distribuição de frequência dos dados. Posteriormente, realizou-se a identificação de *outliers*, de acordo com o gráfico de ramos e folhas. Desta forma, efetuou-se a substituição desses valores pelo valor médio dos circunvizinhos contidos na rede geoestatística, apresentada na Figura 6.

Para testar a hipótese de normalidade, ou de lognormalidade dos atributos (x), realizou-se o teste de Shapiro & Wilk (1965) a 1% de probabilidade. De acordo com o referido teste, a estatística W testa a hipótese nula, a qual julga ser amostra proveniente de uma população com distribuição normal. No caso de dados transformados na forma logarítmica ($y = \log x$), W testa a hipótese nula de que os valores y_i provêm de uma distribuição normal, ou seja, os dados não transformados (x_i) ajustam-se a uma distribuição lognormal. Porém, no quadro de análise descritiva inicial dos atributos, os valores da média, da mediana, do mínimo e do máximo foram retro transformados pelo uso de $x = 10^{(\log x)}$.

3.6.2. Análise de regressão

Foi montada a matriz de correlação, objetivando efetuar as correlações lineares simples para as combinações, duas a duas, entre todos os atributos estudados (solo e planta). Assim, procurou-se selecionar aqueles de maior correlação linear; portanto, aqueles que poderiam apresentar semivariograma cruzado e a conseqüente cokrigagem. Também, conjuntamente para todas as camadas estudadas do solo, foi efetuada a regressão múltipla entre a variável dependente da planta (MSF) e as independentes do solo (atributos do solo), objetivando selecionar aquelas que proporcionariam as melhores relações entre causa e efeito, avaliadas pelo implemento do coeficiente de determinação. Para tanto, por intermédio da ferramenta *step wise*, foi utilizado o Excel e o pacote computacional SAS.

3.6.3. Análise geoestatística

Para cada atributo, foi estimada a dependência espacial pelo cálculo do semivariograma, com base nos pressupostos de estacionaridade da hipótese intrínseca, utilizando o pacote computacional *Gamma Design Software* (GS⁺, 2004). Nalgumas vezes, os semivariogramas apresentaram tendência nos seus dados. Desta forma, a assumida hipótese intrínseca dos fenômenos naturais muitas vezes pode não ocorrer. De acordo com Ribeiro Júnior (1995, 29p.), a tendência refere-se a uma esperança não estacionária que acaba por

provocar problemas de estimação do semivariograma. Quando isso ocorre, pode ser utilizada a técnica de *Refinamento pela Mediana dos dados*. Assim, para alguns atributos, na indefinição de estacionaridade dos seus dados, retirou-se a tendência deles por meio da referida técnica, empregando-se a seguinte expressão, de acordo com Silva et al. (2003):

$$\mathbf{NV} = \mathbf{VO} - (\mathbf{ML} + \mathbf{MC}) + \mathbf{MG} \quad (3)$$

onde: **NV** representa o novo valor residual do atributo, estabelecido num determinado ponto amostral da rede de dados; **VO**, o valor original do atributo; **ML** e **MC** respectivamente representam os valores da mediana da linha e da coluna nas quais o atributo se encontrava; **MG** representa a mediana geral dos atributos contidos na rede amostral. Desta forma, pôde-se recalculá-lo o semivariograma, com os resíduos obtidos deste procedimento.

Foram ajustados semivariogramas simples a todos os atributos estudados, da planta (MSF, AME, ALT e DMC) e do solo (AR1,2 e 3; SI1, 2 e 3; AG1, 2 e 3; DP1, 2 e 3; DS1, 2 e 3; PT1, 2 e 3; PTc1, 2 e 3). Posteriormente, ajustaram-se semivariogramas cruzados entre os atributos: a) planta x planta, b) planta x solo, e c) solo x solo, com o objetivo de definir os pares de melhor representatividade, isto é, qual atributo, tido como variável secundária, apresentou melhor correlação espacial explicativa do atributo tido como variável primária. Portanto, os ajustes dos semivariogramas (simples e cruzados), em função de seus modelos, foram efetuados pela seleção inicial de: a) a menor soma dos quadrados dos desvios (**RSS**); b) o maior coeficiente de determinação (r^2) e c) o maior avaliador do grau da dependência espacial (**ADE**). A decisão final do modelo ajustado foi realizada por meio da validação cruzada, assim como também para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor rede de krigagem e/ou cokrigagem. Para cada atributo foram relacionados o efeito pepita (C_0), o alcance (A_0) e o patamar ($C_0 + C$). A análise do avaliador do grau da dependência espacial (**ADE**) foi efetuada conforme a seguinte expressão (GS+, 2004):

$$\mathbf{ADE} = [C / (C + C_0)] \cdot 100 \quad (4)$$

onde: **ADE** é o avaliador do grau da dependência espacial (%); **C** é a variância estrutural; **C+C₀** é o patamar.

A validação cruzada é uma ferramenta destinada a avaliar modelos alternativos de semivariogramas, simples e cruzados, que efetuarão respectivamente a krigagem e a cokrigagem. Assim, trabalhando-se na obtenção do número ideal de vizinhos, foram obtidos, por meio da interpolação, os mapas de krigagem e de cokrigagem, para a análise da dependência e da interdependência espacial entre os atributos pesquisados.

Na interpretação dos mapas de krigagem, tanto para os atributos que apresentaram tendência, como para os que resultaram em distribuição lognormal, foi efetuado o seguinte:

a) para o caso dos atributos que apresentaram tendência, cuja legenda de valores mapeados apresentou o resíduo dos dados originais ('r-ATR') variando entre positivos e negativos, foram estabelecidos, respectivamente para o maior valor (positivo) e o menor (negativo), os valores máximos e mínimos oriundos da análise descritiva inicial dos dados, e b) para o caso dos atributos que apresentaram distribuição lognormal, cuja legenda de valores mapeados apresentou o logaritmo dos dados originais ('log ATR'), efetivou-se a retrotransformação deles pela seguinte expressão (DEUTSCH & JOURNAL, 1997):

$$Z^*(x) = 10^{\left[Y^*(x) + \frac{\sigma_k^2(x)}{2} \right]} \quad (5)$$

onde: $Z^*(x)$ é o valor retrotransformado da variável normalizada, $Y^*(x)$ é o valor krigado do logaritmo da variável e $\frac{\sigma_k^2(x)}{2}$ é a variância amostral da krigagem do logaritmo da variável.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise descritiva dos dados

4.1.1. Variabilidade dos dados dos atributos estudados

4.1.1.1. Atributos da planta

O Quadro 2 apresenta a análise descritiva de alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto –SP. Dessa forma, para os atributos da planta, a altura da planta (ALT) e o diâmetro do colmo (DMC) tiveram uma baixa variabilidade, sendo de 3,4 e 5,1%, respectivamente, ao passo que a produtividade de massa seca da forragem (MSF) e a altura de inserção da primeira espiga (AME) apresentaram média variabilidade, com 16,3 e 12,9%, respectivamente. Tal fato ficou em consonância com os dados de Nussio (1991) que apresentou dados com variabilidade baixa para a altura de plantas e média para a produção de massa seca da forragem do milho. Por outro lado, Lima (2005) encontrou dados com baixa variabilidade para a produção de massa seca (MSF) do milho.

4.1.1.2. Atributos granulométricos do solo

No Quadro 2 foi constatado que a fração areia (AR) apresentou uma baixa variabilidade para todas as camadas estudadas, sendo de 2,6% (AR1), 2,6% (AR2) e 2,7% (AR3). Tal variação foi muito semelhante à encontrada por Souza et al. (1997) e Gonçalves et al. (2000); porém diferiu dos dados de Coelho Filho et al. (2001) e Kitamura (2004), que encontraram valores de média magnitude, e ainda diferentes dos encontrados por Sousa et al. (1999) e Eguchi et al. (2002), que encontraram alta variabilidade. Montezano et al. (2006) também encontraram variabilidade muito alta para este atributo. A fração silte (SI) apresentou média variabilidade para SI1 e SI3 (18,0 e 17,7%), enquanto que SI2 apresentou baixo coeficiente de variação, de 4,1%; porém, ressalta-se que houve a transformação logarítmica para os dados desse atributo, o que contribuiu para a redução do referido coeficiente de variação, em relação aos dados originais.

Quadro 2: Análise descritiva inicial de alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.

Atributo ^(a)	Medidas estatísticas descritivas									Probabilidade do teste ^(b)	
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Variação (%)	Coeficiente		Pr<w	DF	
			Mínimo	Máximo			Curtose	Assimetria			
<i>Atributos da planta</i>											
MSF (kg/ha)	14842	15050	8949	23198	2424	16,3	0,615	0,008	0,369	NO	
<i>l</i> -AME (m) ^(c)	1,45	1,44	1,32	1,64	2,07.10 ⁻²	12,9	-0,489	0,353	0,029	TL	
ALT (m)	2,70	2,69	2,47	2,92	9,26.10 ⁻²	3,4	-0,272	-0,023	0,556	NO	
DMC (cm)	2,49	2,50	2,13	2,81	1,26.10 ⁻¹	5,1	0,293	-0,345	0,333	NO	
<i>Granulometria do solo</i>											
AR1 (g/kg)	804	805	754	846	20,6	2,6	-0,582	0,010	0,310	NO	
AR2 (g/kg)	787	786	734	841	20,6	2,6	0,003	0,092	0,967	NO	
AR3 (g/kg)	763	761	718	827	20,8	2,7	1,536	0,814	1,000.10 ⁻⁴	IN	
SI1 (g/kg)	90	90	56	147	16,3	18,0	0,258	0,429	0,192	NO	
<i>l</i> -SI2 (g/kg) ^(c)	81	82	54	114	7,9.10 ⁻²	4,1	-0,897	-0,040	0,030	TL	
SI3 (g/kg)	85	84	49	128	15,0	17,7	-0,058	0,203	0,821	NO	
AG1 (g/kg)	106	106	60	162	15,0	14,0	1,535	0,051	0,070	NO	
AG2 (g/kg)	131	130	89	171	16,2	12,4	0,278	0,038	0,173	NO	
AG3 (g/kg)	152	153	103	187	16,9	11,1	0,509	-0,638	0,008	IN	
<i>Relação massa/volume do solo</i>											
DP1 (kg/dm ³)	2,46	2,46	2,34	2,58	5,0.10 ⁻²	2,0	-0,464	-0,023	0,019	TN	
DP2 (kg/dm ³)	2,47	2,48	2,34	2,65	5,7.10 ⁻²	2,3	-0,073	0,142	0,069	NO	
DP3 (kg/dm ³)	2,44	2,43	2,34	2,58	5,0.10 ⁻²	2,1	-0,329	0,078	0,040	TN	
DS1 (kg/dm ³)	1,47	1,51	1,06	1,75	1,4.10 ⁻¹	9,8	-0,565	-0,523	5,000.10 ⁻⁴	IN	
DS2 (kg/dm ³)	1,67	1,67	1,55	1,77	5,1.10 ⁻²	3,1	-0,705	-0,205	0,090	NO	
DS3 (kg/dm ³)	1,69	1,69	1,48	1,90	7,0.10 ⁻²	4,2	0,272	0,177	0,784	NO	
PT1 (m ³ /m ³)	0,367	0,354	0,254	0,530	6,3.10 ⁻²	17,1	-0,656	0,544	1,000.10 ⁻⁴	IN	
PT2 (m ³ /m ³)	0,291	0,289	0,254	0,334	1,6.10 ⁻²	5,6	0,185	0,447	0,084	NO	
PT3 (m ³ /m ³)	0,299	0,300	0,241	0,341	2,0.10 ⁻²	6,6	0,189	-0,451	0,078	NO	
PTc1 (m ³ /m ³)	0,400	0,388	0,277	0,575	5,5.10 ⁻²	14,5	-0,317	0,477	0,001	IN	
PTc2 (m ³ /m ³)	0,324	0,322	0,270	0,379	2,6.10 ⁻²	8,1	-0,937	0,029	0,028	TN	
PTc3 (m ³ /m ³)	0,308	0,309	0,204	0,396	3,2.10 ⁻²	10,4	0,054	-0,226	0,311	NO	

^(a) MSF = produtividade de matéria seca da forragem; AME = altura de inserção da primeira espiga; ALT = altura da planta; DMC = diâmetro do colmo; AR, SI e AG são respectivamente as frações areia, silte e argila do solo; DP, DS, PT e PTc são respectivamente a densidade da partícula, a densidade do solo, a porosidade total determinada (método direto) e, a porosidade total calculada (método indireto); ^(b) DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN, TL e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal, tendendo a lognormal e indeterminado, ^(c) valores x* da média, mediana, mínimo e máximo retrotransformados por x* = 10^{log x}.

Resultados semelhantes para o silte (SI1 e SI3) puderam ser notados nos trabalhos de Vieira (1997), Coelho Filho et al. (2001), Gonçalves & Folegatti (2002), Souza et al. (2004b) e Kitamura (2004), os quais também apresentaram médio coeficiente de variação, ao passo que Macedo et al. (1998) e Roque et al. (2002) mostraram um baixo coeficiente de variação, semelhante ao encontrado para o SI2. Por outro lado, Souza et al. (2003) indicaram um alto coeficiente de variação para este atributo, discordando dos dados apresentados no presente trabalho. Já para a fração argila (AG), esse atributo apresentou coeficiente de variação médio para AG1, AG2 e AG3, com valores de 14,0, 12,4 e 11,1%, respectivamente. Valores semelhantes foram encontrados por Sousa et al. (1999), Gonçalves & Folegatti (2002), Mello (2002) e Montezano et al. (2006). Por outro lado, diferiram dos dados de Vieira (1997) e Corá et al. (2004), Gonçalves et al. (2000) e Rabah (2002), que apresentaram respectivamente dados com magnitude baixa, alta e muito alta.

De acordo com Souza et al. (2004b), a argila e a areia dos latossolos são atributos praticamente estáveis no solo, modificando-se pouco ao longo do tempo por ação natural das intempéries. Ainda de acordo com Guimarães (2000), a variabilidade das frações granulométricas é pouco dependente do uso e do manejo ao qual o solo é submetido e a sua variação é proveniente da própria formação natural. Assim sendo, percebeu-se no presente estudo, que os coeficientes de variação (Quadro 2) não mostraram grande magnitude e nem apresentaram grande variação entre as três camadas para os atributos areia, silte, e argila, concordando com os dados de Salviano et al. (1998) e Kitamura (2004), quando estudaram a granulometria nas primeiras camadas do solo (zero-0,20 m e 0,20-0,40 m). A exceção ficou para o silte, onde o atributo SI2 apresentou grandes diferenças das demais camadas SI1 e SI3, sendo justificado pelo fato de seus valores terem sido substituídos pelos seus respectivos logaritmos decimais.

4.1.1.3. Atributos da relação massa/volume do solo

Para os atributos de relação massa/volume do solo, a densidade da partícula (DP) apresentou baixos coeficientes de variação (Quadro 2), sendo de 2,0% (DP1), 2,3% (DP2) e 2,1% (DP3), estando estes valores semelhantes aos encontrados por Macedo et al. (1998), Eguchi et al. (2002), Mesquita et al. (2003) e Santos et al. (2006). Como a densidade da partícula é um atributo que pouco varia para um mesmo tipo de solo, tal variabilidade encontrada se deve principalmente à variabilidade natural dos dados. A densidade global do solo (DS) também apresentou uma baixa magnitude, sendo seus valores de 9,8, 3,1 e 4,2 %, respectivamente para DS1, DS2 e DS3. Tal fato ficou em consonância com os dados dos

trabalhos de Rabah (2002), Carvalho et al. (2002; 2003), Johann et al. (2004), Souza et al. (2004a), Andrade et al. (2005) e Schaffrath (2006), os quais apresentaram coeficientes de variação entre 4,1 e 8,6%. Já Grego & Vieira (2005) encontraram baixa e média variabilidade para o atributo em questão.

No Quadro 2, a porosidade total determinada (PT) apresentou média variabilidade para PT1 (17,1%) ao passo que a PT2 e a PT3 indicaram baixa variabilidade, sendo de 5,6 e 6,6%, respectivamente. Em contrapartida, a porosidade total calculada (PTc) apresentou baixa variabilidade para PTc2 (8,1%) e média variabilidade para PTc1 (14,5%) e PTc3 (10,4%). Tal fato esteve em consonância com os trabalhos de Carvalho et al. (2002; 2003), Mesquita (2003); Souza et al. (2004b), Milani et al. (2005), Santos et al. (2006), Schaffrath (2006) e Siqueira (2006), os quais apresentaram dados com variação semelhante, ora um autor para porosidade total determinada, ora outro autor para a porosidade total calculada.

A variabilidade do solo é produto da interação entre os fatores e os processos de sua formação. Assim, o seu manejo, quando analisado pela ação que o implemento de preparo proporciona, se constitui num fato decisivo para o aumento da sua heterogeneidade. (TRANGMAR et al., 1985; FREDDI et al., 2006). Portanto, de forma a concordar com tais autores, tanto para a DS quanto para a PT e a PTc do presente estudo (Quadro 2), assim como com o fato do mínimo revolvimento que a semeadora de plantio direto tenha realizado no solo, os maiores coeficientes de variação observados na primeira camada atestaram que o sistema plantio direto proporcionou um aumento da heterogeneidade na superfície do solo. Por outro lado, considerando que o teor de matéria orgânica do solo era baixo e decrescente em profundidade (Quadro 1), assim como a compactação anteriormente exercida pelo gado bovino, os menores coeficientes de variação observados nas camadas seguintes atestaram que o sistema plantio direto também pôde corroborar para o aumento da homogeneidade na subsuperfície (0,10-0,30 m) do solo trabalhado.

Durante a condução do experimento, foi observado, exclusivamente em relação à camada superficial do solo (zero-0,10 m), elevado enraizamento originado tanto da pastagem anterior, como do próprio milho semeado, denotando um aspecto muito poroso e positivo ao solo e, portanto, à futura produtividade da forragem. Posteriormente, esse fato pôde ser comprovado (Quadro 2), uma vez que, do ponto de vista da edafologia, a DS1 foi melhor do que a DS2 e a DS3, assim como a PT1 também o foi em relação à PT2 e à PT3, como também a PTc1 em relação à PTc2 e à PTc3.

4.1.2. Distribuição de frequência e valores médios dos atributos estudados

4.1.2.1. Atributos da planta

É sabido que quando uma variável qualquer possui distribuição de frequência lognormal, a sua medida de tendência central mais adequada deve ser a mediana, do mesmo modo como para variáveis que apresentam distribuição normal deve ser a média. Dessa forma, no Quadro 2, para os atributos da planta, a distribuição de frequência foi normal para MSF, ALT e DMC e lognormal para AME (l-AME). Assim, o valor médio para MSF foi de 14842 kg/ha, ficando tal valor dentro da faixa de produtividade de massa seca do milho, apresentada por Cruz et al. (2001), que variou entre 4590-22180 kg/ha, quando estudados distintos cultivares de milho. Contudo, essa produtividade foi substancialmente superior àquela relatada por Fahl et al. (1998) para o estado de São Paulo (8000-12000 kg/ha), muito provavelmente devido à irrigação utilizada, uma vez que se tratava de milho outonal (*safrinha*). A altura da planta (ALT) apresentou o valor médio de 2,70 m. Já para as variáveis da altura média de inserção da primeira espiga, que tiveram seus valores transformados em logaritmos (l-AME), o seu valor mediano foi de 1,44 m. O diâmetro médio do colmo das plantas (DMC) apresentou o valor de 2,49 cm.

4.1.2.2. Atributos granulométricos do solo

A distribuição de frequência dos dados para a fração areia (Quadro 2) foi normal (AR1 e AR2), semelhante aos trabalhos de Gonçalves et al. (2001) e de Barbieri et al. (2002); porém, diferenciando dos dados de Eguchi et al. (2002), de Rabah (2002) e de Souza et al. (2004b), que apresentaram distribuição não normal. Já o atributo AR3 apresentou uma distribuição de frequência dos dados indeterminada, concordando com os de Kitamura (2004), que também encontrou tendência semelhante para este atributo. Seus valores variaram de 804 g/kg (AR1) a 763g/kg (AR3), apresentando uma tendência linear negativa em relação ao aumento da profundidade do solo. Para a fração silte, sua distribuição foi normal (SI1 e SI3), estando tal fato em consonância com os dados apresentados por Souza et al. (2003), Kitamura (2004) e Souza et al. (2004b). Por outro lado, o SI2 (l-SI2) apresentou uma distribuição tendendo à lognormalidade. Seus valores foram de 90 g/kg (SI1), 82 g/kg (l-SI2) e 85 g/kg (SI3), não havendo a mesma tendência linear apresentada pela areia, em relação à profundidade do solo.

A fração argila (Quadro 2) apresentou distribuição normal para AG1 e AG2 e indeterminado para AG3, ficando estes valores, semelhantes aos dos trabalhos de Vieira (1997), de Gonçalves & Folegatti (2002) e de Souza et al. (2004b), os quais também encontraram normalidade em seus dados. Em contrapartida, para a fração argila do solo,

Souza et al. (2003) encontraram distribuição de frequência lognormal e indefinido, ao passo que Kitamura (2004) encontrou distribuição normal e lognormal para diferentes camadas estudadas do solo. Os valores médios encontrados para a argila foram de 106 g/kg (AG1), 131 g/kg (AG2) e 152 g/kg (AG3). Assim, observou-se um aumento no teor da argila com o aumento da profundidade no perfil do solo.

A tendência geral é que ocorra a diminuição da fração areia, com um incremento gradativo do teor de argila em profundidade no solo (KIEHL, 1979). Dessa forma, este fato pôde ser constatado no presente trabalho quando foram analisados os valores médios da areia e da argila no Quadro 2, os quais ficaram de acordo também com a mesma tendência apresentada por Salviano et al. (1998), Sousa et al. (1999), Mello (2002), Rabah (2002), Kitamura (2004) e Souza et al. (2004b).

4.1.2.3. Atributos da relação massa/volume do solo

Quanto aos atributos da relação massa volume do solo (Quadro 2), verificou-se que a distribuição de frequência da densidade da partícula foi normal apenas para DP2, sendo semelhante aos trabalhos de Eguchi et al. (2002), Mesquita et al. (2003) e Santos et al. (2006). Por outro lado, a DP1 e a DP3 apresentaram distribuição tendendo a normal. Os valores médios para estes atributos foram de 2,46 kg/dm³ (DP1), 2,47 kg/dm³ (DP2) e 2,44 kg/dm³ (DP3). Assim, notou-se que nas camadas onde os valores da densidade da partícula foram mais altos (zero-0,10 e 0,10 – 0,20 m), ainda que infimamente superior, os teores de matéria orgânica (Quadro1) foram mais elevados, diferentemente do que se esperava, uma vez que existia a tendência de a matéria orgânica corroborar para a diminuição dos valores da densidade da partícula. Tal comportamento se deve possivelmente a outros fatores, como, por exemplo, àqueles ligados às características predominantes da parte mineral do solo. Tal fato foi semelhante ao encontrado por Santos et al. (2006), uma vez que os dados desse autor não indicaram valores menores de densidade da partícula nas camadas de maior teor de matéria orgânica.

Com relação à densidade do solo (Quadro 2), a distribuição de frequência foi normal para a DS2 e a DS3 e indefinida para a DS1, sendo esse fato também observado por Johann et al. (2004), Souza et al. (2004a), Grego & Vieira (2005) e Melo Filho et al. (2006). Por outro lado, concordou em parte com os dados de Carvalho et al. (2002), os quais apresentaram distribuição normal e lognormal, indistintamente em profundidade. Seus valores médios foram de 1,47 kg/dm³ (DS1), 1,67 kg/dm³ (DS2) e 1,69 kg/dm³ (DS3), seguindo uma tendência linear positiva, em relação ao aumento em profundidade do solo, indicando que a

camada de maior compactação é a que se encontrou entre 0,20-0,30 m. Tal fato ficou em consonância com os trabalhos de Souza et al. (2001) e de Carvalho et al. (2002), cujos dados também apresentaram um aumento da densidade em profundidade no solo, muito provavelmente devido à redução do seu teor de matéria orgânica, ao passo que discordaram dos trabalhos de Carvalho et al. (1999), de Grego & Vieira (2005) e de Melo Filho et al. (2006), que encontraram um gradiente decrescente para a densidade do solo em profundidade. Os valores indicados no presente trabalho ficaram acima da faixa da variação geral apontada para solos arenosos, mais densos do que os argilosos, relatada entre 1,20-1,40 kg/dm³, e muito próximos dos níveis críticos de densidade do solo indicados por Kiehl (1979) e Camargo & Alleoni (1997), situados ao redor de 1,70 kg/dm³. Esses valores são considerados capazes de afetar o crescimento das plantas, uma vez que impõem barreiras ao seu desenvolvimento adequado (Foloni et al., 2003; Secco et al., 2005).

A porosidade total determinada do solo (Quadro 2) apresentou distribuição de frequência do tipo indeterminado para PT1, ficando tal fato de acordo com Carvalho et al. (2003). Na subsuperfície (PT2, PT3), foi observada distribuição normal, concordando com os dados de Carvalho et al. (2003), de Mesquita et al. (2003), de Santos et al. (2006) e de Siqueira (2006). Seus valores foram decrescentes em profundidade, sendo de 0,367 m³/m³ (PT1), 0,291 m³/m³ (PT2) e 0,299 m³/m³ (PT3). Já a porosidade total calculada do solo, a exemplo da porosidade total determinada, apresentou distribuição de frequência indeterminada na superfície (PTc1) e normal na última camada (PTc3). Por outro lado, a exceção ficou para a PTc2 que apresentou distribuição tendendo a normal. Seus valores médios, apesar de superiores aos da PT (porosidade total determinada), apresentaram-se igualmente de forma decrescentes em profundidade, sendo de 0,400 m³/m³ (PTc1), 0,324 m³/m³ (PTc2) e 0,308 m³/m³ (PTc3).

Os valores da PT e da PTc (Quadro 2) apresentaram-se de forma lógica com os valores de densidade, os quais aumentaram substancialmente em profundidade, denotando um evidente estado de maior compactação do solo na segunda e terceira camadas, concordando com os trabalhos de Souza et al. (2001), de Carvalho et al. (2002), de Melo Filho et al. (2006) e de Santos et al. (2006). Tal fato provavelmente tenha acontecido devido ao intenso pisoteio do gado bovino, uma vez que essa área foi destinada ao pastejo nos seis anos anteriores. Assim, principalmente em relação aos referidos valores da porosidade total determinada (PT), observados em profundidade, eles ficaram muito próximos do limite inferior indicado por Baver et al. (1973) e Kiehl (1979) para os solos arenosos, que geralmente tendem a apresentar menores valores de porosidade total do que os argilosos, que foi de 0,350 m³/m³. Portanto,

esse fato pode ter perfeitamente contribuído para que houvesse uma diminuição da massa seca da forragem do milho outonal (*safrinha*) - MSF, não liberando, portanto, ainda que tenha sido utilizada a irrigação, a manifestação da sua máxima capacidade produtiva.

4.2. Análise de regressão entre os atributos estudados

4.2.1. Regressão linear simples

4.2.1.1. Matriz de correlação linear simples entre os atributos estudados

No Quadro 3 está apresentada a matriz de correlação linear simples entre os atributos estudados da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto – SP.

4.2.1.1.1. Atributos da planta *versus* atributos da planta

As correlações entre os atributos da planta (Quadro 3) apresentaram significância exclusivamente para os pares AME x ALT ($r = 0,532^{**}$), MSF x DMC ($r = 0,335^{**}$) e o DMC x ALT ($r = 0,168^{**}$). O par de destaque foi o AME x ALT, que apresentou a maior correlação. Tal fato é de importância prática para a colheita da forragem do milho, uma vez que sendo positiva tal correlação, tão maior será a altura de inserção da primeira espiga, o que facilitaria sobremaneira a respectiva colheita por aumentar a altura de corte, caso o milho seja destinado à produtividade de grãos. Também, outra importante correlação prática foi dada pelo par MSF x DMC. Desta forma, quanto maior for o diâmetro do colmo da planta de milho tão maior será a respectiva produtividade de matéria seca da forragem.

4.2.1.1.2. Atributos da planta *versus* atributos do solo

As correlações entre a massa seca da forragem do milho (MSF) e os atributos do solo (Quadro 3) apresentaram significância exclusivamente para os pares MSFxPT1 ($r = 0,199^{**}$), MSFxPT2 ($r = -0,190^{**}$), MSFxAG1 ($r = -0,144^{*}$) e MSFxDS1 ($r = -0,143^{*}$). O único par que apresentou correlação positiva foi o MSFxPT1, indicando que com o aumento da porosidade total determinada (PT1) na camada de zero-0,10 m, ocorrerá o mesmo com a MSF. Por outro lado, PT2, AG1 e DS1 apresentaram correlação negativa com o MSF. No caso do PT2, tal correlação negativa pode ser explicada pela provável falta de contato entre a raiz e o solo, o que levaria a uma diminuição da absorção de água e nutrientes pelas plantas e, conseqüentemente da produtividade vegetal, conforme preconizado por Hankansson et al. (1998). Com relação ao AG1, esse fato ficou de difícil explicação, uma vez que sendo o solo pesquisado de textura franco-arenosa, era de se esperar que com o aumento do teor de argila ocorresse o mesmo com a MSF, ficando de acordo com o observado por Kitamura (2004), que

Quadro 3: Matriz de correlação linear simples entre alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.

(continua...)

Coefficiente de correlação^(b)													
Atributos^(a)	MSF	I-AME	ALT	DMC	AR1	AR2	AR3	SI1	I-SI2	SI3	AG1	AG2	AG3
I-AME	-0,053 ^{ns}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ALT	-0,048 ^{ns}	0,532 ^{**}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DMC	0,335 ^{**}	0,074 ^{ns}	0,168 ^{**}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AR1	0,076 ^{ns}	-0,019 ^{ns}	0,015 ^{ns}	0,041 ^{ns}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AR2	0,037 ^{ns}	0,010 ^{ns}	0,013 ^{ns}	-0,084 ^{ns}	0,616 ^{**}	-	-	-	-	-	-	-	-
AR3	0,015 ^{ns}	-0,052 ^{ns}	-0,096 ^{ns}	-0,097 ^{ns}	0,470 ^{**}	0,683 ^{**}	-	-	-	-	-	-	-
SI1	0,035 ^{ns}	-0,060 ^{ns}	-0,086 ^{ns}	-0,041 ^{ns}	-0,699 ^{**}	-0,357 ^{**}	-0,178 ^{**}	-	-	-	-	-	-
I-SI2	-0,056 ^{ns}	0,081 ^{ns}	0,091 ^{ns}	0,071 ^{ns}	-0,563 ^{**}	-0,627 ^{**}	-0,490 ^{**}	0,479 ^{**}	-	-	-	-	-
SI3	-0,057 ^{ns}	-0,104 ^{ns}	0,092 ^{ns}	0,039 ^{ns}	-0,402 ^{**}	-0,418 ^{**}	-0,587 ^{**}	0,421 ^{**}	0,664 ^{**}	-	-	-	-
AG1	-0,144 [*]	0,092 ^{ns}	0,074 ^{ns}	-0,012 ^{ns}	-0,619 ^{**}	-0,463 ^{**}	-0,456 ^{**}	-0,128 [*]	0,255 ^{**}	0,095 ^{ns}	-	-	-
AG2	0,011 ^{ns}	-0,081 ^{ns}	-0,104 ^{ns}	0,047 ^{ns}	-0,260 ^{**}	-0,700 ^{**}	-0,422 ^{**}	0,005 ^{ns}	-0,114 ^{ns}	-0,076 ^{ns}	0,356 ^{**}	-	-
AG3	0,066 ^{ns}	0,146 ^{**}	0,087 ^{ns}	0,110 ^{ns}	-0,238 ^{**}	-0,487 ^{**}	-0,658 ^{**}	-0,117 ^{ns}	0,041 ^{ns}	-0,107 ^{ns}	0,459 ^{**}	0,585 ^{**}	-
DP1	-0,095 ^{ns}	0,046 ^{ns}	0,071 ^{ns}	0,092 ^{ns}	-0,278 ^{**}	-0,180 ^{**}	-0,052 ^{ns}	0,163 ^{**}	0,161 ^{**}	0,158 ^{**}	0,207 ^{**}	0,067 ^{ns}	-0,097 ^{ns}
DP2	-0,067 ^{ns}	-0,138 [*]	0,006 ^{ns}	0,056 ^{ns}	-0,160 ^{**}	-0,141 [*]	-0,064 ^{ns}	0,055 ^{ns}	0,084 ^{ns}	0,140 [*]	0,162 ^{**}	0,080 ^{ns}	-0,038 ^{ns}
DP3	-0,035 ^{ns}	-0,044 ^{ns}	-0,024 ^{ns}	0,069 ^{ns}	-0,219 ^{**}	-0,046 ^{ns}	-0,019 ^{ns}	0,148 ^{**}	-0,006 ^{ns}	0,142 [*]	0,142 [*]	0,051 ^{ns}	-0,096 ^{ns}
DS1	-0,143 [*]	-0,006 ^{ns}	0,093 ^{ns}	-0,015 ^{ns}	-0,092 ^{ns}	-0,205 ^{**}	-0,251 ^{**}	-0,236 ^{**}	-0,003 ^{ns}	0,103 ^{ns}	0,386 ^{**}	0,245 ^{**}	0,171 ^{**}
DS2	0,001 ^{ns}	-0,075 ^{ns}	-0,113 ^{ns}	-0,085 ^{ns}	0,253 ^{**}	0,022 ^{ns}	-0,074 ^{ns}	-0,272 ^{**}	-0,185 ^{**}	-0,060 ^{ns}	-0,052 ^{ns}	0,137 [*]	0,136 [*]
DS3	0,104 ^{ns}	-0,187 ^{**}	-0,207 ^{**}	0,029 ^{ns}	0,143 [*]	0,183 ^{**}	0,131 [*]	0,011 ^{ns}	-0,069 ^{ns}	0,030 ^{ns}	-0,210 ^{**}	-0,163 ^{**}	-0,205 ^{**}
PT1	0,199 ^{**}	0,023 ^{ns}	-0,080 ^{ns}	-0,009 ^{ns}	0,210 ^{**}	0,282 ^{**}	0,314 ^{**}	0,202 ^{**}	-0,080 ^{ns}	-0,103 ^{ns}	-0,513 ^{**}	-0,273 ^{**}	-0,235 ^{**}
PT2	-0,190 ^{**}	0,120 ^{ns}	0,141 [*]	-0,059 ^{ns}	0,073 ^{ns}	0,128 [*]	0,076 ^{ns}	-0,092 ^{ns}	0,101 ^{ns}	0,132 [*]	-0,001 ^{ns}	-0,260 ^{**}	-0,183 ^{**}
PT3	-0,068 ^{ns}	0,219 ^{**}	0,244 ^{**}	0,010 ^{ns}	-0,022 ^{ns}	-0,156 ^{**}	-0,109 ^{ns}	-0,177 ^{**}	-0,021 ^{ns}	-0,111 ^{ns}	0,225 ^{**}	0,211 ^{**}	0,307 ^{**}
PTc1	0,124 ^{ns}	0,019 ^{ns}	-0,075 ^{ns}	0,035 ^{ns}	0,031 ^{ns}	0,167 ^{**}	0,240 ^{**}	0,276 ^{**}	0,040 ^{ns}	-0,069 ^{ns}	-0,346 ^{**}	-0,234 ^{**}	-0,191 ^{**}
PTc2	-0,040 ^{ns}	-0,025 ^{ns}	0,089 ^{ns}	0,099 ^{ns}	-0,294 ^{**}	-0,101 ^{ns}	0,023 ^{ns}	0,247 ^{**}	0,192 ^{**}	0,128 [*]	0,137 ^{ns}	-0,058 ^{ns}	-0,130 [*]
PTc3	-0,101 ^{ns}	0,101 ^{ns}	0,134 [*]	0,015 ^{ns}	-0,251 ^{**}	-0,244 ^{**}	-0,161 ^{**}	0,059 ^{ns}	0,066 ^{ns}	0,067 ^{ns}	0,283 ^{**}	0,241 ^{**}	0,158 ^{**}

(a) MSF, I-AME, ALT e DMC são respectivamente a produtividade de matéria seca da forragem, altura de inserção da primeira espiga, altura da planta e diâmetro do colmo; AR, SI e AG, são respectivamente as frações de areia, silte e argila; DP, DS, PT e PTC são respectivamente a densidade da partícula, a densidade do solo, a porosidade total determinada (método direto) e a porosidade total calculada (método indireto); atributos precedidos de "*" foram transformados pelos logaritmos decimais; (b) * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns não significativo.

Quadro 3: Matriz de correlação linear simples entre alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.

Atributos ^(a)	Coeficiente de correlação ^(b)											
	DP1	DP2	DP3	DS1	DS2	DS3	PT1	PT2	PT3	PTc1	PTc2	
I-AME	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ALT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DMC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AR1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AR2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AR3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SI1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I-SI2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SI3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AG1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AG2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AG3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DP1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DP2	0,561**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DP3	0,482**	0,595**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DS1	0,159**	0,281**	0,145*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DS2	-0,117 ^{ns}	-0,020 ^{ns}	-0,088 ^{ns}	0,152**	-	-	-	-	-	-	-	-
DS3	-0,141*	-0,115 ^{ns}	-0,116 ^{ns}	-0,101 ^{ns}	-0,026 ^{ns}	-	-	-	-	-	-	-
PT1	-0,234**	-0,344**	-0,232**	-0,913**	-0,129*	0,096 ^{ns}	-	-	-	-	-	-
PT2	-0,024 ^{ns}	0,045 ^{ns}	-0,030 ^{ns}	-0,044 ^{ns}	-0,307**	-0,029 ^{ns}	0,053 ^{ns}	-	-	-	-	-
PT3	0,008 ^{ns}	0,111 ^{ns}	0,014 ^{ns}	0,327**	0,209**	-0,503**	-0,310*	0,140*	-	-	-	-
PTc1	0,054 ^{ns}	-0,164**	-0,045 ^{ns}	-0,977**	-0,180**	0,071 ^{ns}	0,873**	0,040 ^{ns}	-0,327**	-	-	-
PTc2	0,429**	0,616**	0,428**	0,047 ^{ns}	-0,799**	-0,051 ^{ns}	-0,103 ^{ns}	0,269**	-0,097 ^{ns}	0,045 ^{ns}	-	-
PTc3	0,352**	0,329**	0,492**	0,120 ^{ns}	0,002 ^{ns}	-0,865**	-0,163**	0,019 ^{ns}	0,413**	-0,047 ^{ns}	0,199**	-

(a) MSF, I-AME, ALT e DMC são respectivamente a produtividade de matéria seca da forragem, altura de inserção da primeira espiga, altura da planta e diâmetro do colmo; AR, SI e AG, são respectivamente as frações de areia, silte e argila; DP, DS, PT e PTc são respectivamente a densidade da partícula, a densidade do solo, a porosidade total determinada (método direto) e a porosidade total calculada (método indireto); atributos precedidos de *P foram transformados pelos logaritmos decimais; significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

também obteve correlação negativa, entretanto altamente significativa, entre a fração argila e a produtividade de feijão ($r=-0,271$). Por outro lado, Montezano et al. (2006) encontraram correlação positiva entre a fração argila do solo e a produtividade da planta ($r=0,280$). Já em relação ao DS1, tal correlação com a MSF indicou função decrescente entre causa e efeito. Assim, com a diminuição da DS1 ocorrerá um aumento da MSF, sendo o inverso verdadeiro. Desta forma, esse fato ficou de acordo com Santos et al. (2006) que observaram a mesma tendência para a densidade do solo, quando correlacionada com a produtividade de grãos de milho.

As correlações entre a altura média de inserção da primeira espiga (AME) e os atributos do solo (Quadro 3) apresentaram significância exclusivamente para os pares AMExPT3 ($r = 0,219^{**}$), AMExDS3 ($r = -0,187^*$), AMExAG3 ($r = 0,146^*$) e AMExDP2 ($r = -0,138^*$). Por outro lado, em relação à altura da planta (ALT), as significativas foram para ALTxPT3 ($r = 0,244^{**}$), ALTxDS3 ($r = -0,207^{**}$) e ALTxPTc3 ($r = 0,134^*$).

4.2.1.1.3. Atributos do solo *versus* atributos do solo

As correlações entre os atributos da fração granulométrica do solo (Quadro 3), sobretudo as estabelecidas entre ARxSI e ARxAG, apresentaram-se todas significativas e de relação inversa entre causa e efeito. Desta forma, como esperado, com o aumento da fração areia ocorrerá diminuições das frações SI e AG, sendo o inverso verdadeiro. Este fato ficou parcialmente de acordo com Kitamura (2004) e Montezano et al. (2006).

As correlações entre os atributos DSxPTc, estabelecidas nas mesmas camadas do solo (Quadro 3), foram todas negativas, de magnitudes extra-alta, assim como altamente significativas. Tal fato era de se esperar, uma vez que a DS foi utilizada no cálculo da PTc, conforme estabelecido pela Eq. (1). A correlação DS1xPTc1 representou o maior valor do coeficiente de correlação observado ($r = -0,977^{**}$). A variação inversa entre a DSxPTc atestou que com o aumento da densidade ocorrerá uma diminuição, tanto da porosidade total determinada (PT) como da porosidade total calculada (PTc), ficando esse fato de acordo com Kiehl (1979), Camargo e Alleoni (1997), Carvalho et al. (1999) e Secco et al. (2005).

As correlações entre as porosidades totais do solo (PTxPTc), estabelecidas exclusivamente para as mesmas camadas (Quadro 3), foram todas positivas, denotando que a porosidade total determinada (PT) foi praticamente igual à porosidade total calculada (PTc). Desta forma, sabendo-se que foram usadas distintas metodologias para o cálculo da porosidade total, isto é: a) para a porosidade total determinada (PT), o Método do Anel Volumétrico, com o encharcamento do monólito de terra, e b) para a porosidade total

calculada (PTc), o Método do Anel Volumétrico sem o encharcamento do monólito (densidade do solo) adicionado do Método do Álcool (densidade da partícula), é que o uso de cada uma deverá ficar de acordo com a conveniência de cada usuário, uma vez que tais metodologias denotaram correlações diretas, elevadas e altamente significativas. Contudo, há que se considerar que a metodologia da porosidade total determinada (PT) é substancialmente mais fácil de ser empregada do que aquela da porosidade total calculada (PTc).

4.2.1.2. Regressão linear simples entre os atributos estudados

As equações de regressão linear simples entre os atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto – SP estão apresentadas no Quadro 4. Especificamente, foram relatadas as equações de regressão com maior expressividade entre atributos, cujos coeficientes de correlação foram apresentados no Quadro 3, a seguir: a) entre os atributos da planta, b) os da planta em função dos do solo, e c) entre os do solo. Portanto, os modelos apresentados foram para os pares de atributos que exclusivamente proporcionaram correlações significativas e que também apresentaram coeficientes adjuntos das variáveis independentes de forma estatisticamente significativos.

No âmbito da regressão entre atributos da planta (Quadro 4), na Eq. (6) ficou evidenciado o ajuste ao modelo quadrático da AME em função da ALT, com um coeficiente de determinação igual a 0,317. Portanto, a altura média de inserção da primeira espiga do milho (AME) em questão pode ser determinada, a partir da altura da planta (ALT), com uma probabilidade de acerto de aproximadamente 32%. Desta forma, quando for considerado o valor da ALT média de 2,70 m (Quadro 2), a AME correspondente será de 1,436 m, valor com magnitude suficiente para proporcionar uma rápida e eficiente colheita mecânica, caso o milho trabalhado seja destinado à produção de grãos.

As equações de regressão entre os atributos da planta e os do solo (Quadro 4) revelaram que a PT1 e a PT2 foram os únicos atributos que apresentaram equações significativas com a massa seca da forragem do milho (MSF). A MSF apresentou baixas correlações, embora significativas, exclusivamente com a PT1 e a PT2, representadas respectivamente pelas Eq. (7) e (8). Desta forma, com o aumento da PT1 também haverá aumento da MSF, ficando tal fato de acordo com Santos et al. (2006), que observaram a mesma tendência para a porosidade total do solo, quando correlacionada com a produtividade de grãos de milho. Contudo, com relação ao PT2 ocorrerá o inverso, isto é, com o aumento da porosidade total do solo na camada de 0,10-0,20 m haverá a diminuição da massa seca da forragem do milho. As equações de regressão entre os atributos do solo (Quadro 4)

Quadro 4: Equação de regressão linear simples e coeficientes do ajuste entre atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

Modelo matemático ^(a)	Coeficiente de ajuste ^(b)					Número
	a	b	c	r	r ²	
<i>Planta x planta</i>						
AME = a + b . ALT + c . ALT²	8,173	-5,387*	1,071*	-	0,317**	(6)
<i>Planta x solo</i>						
MSF = a + b . PT1	1,203.10 ⁴	7,654.10 ³ *	-	0,199**	-	(7)
MSF = a . PT2^b	6,958.10 ³	-6,010.10 ⁻¹ *	-	-0,198**	-	(8)
AME = a + b . DS3	1,763	-1,862.10 ⁻¹ *	-	-0,187**	-	(9)
AME = a + b . PT3	1,216	7,759.10 ⁻¹ *	-	0,219**	-	(10)
ALT = a . exp^{DS3 . b}	3,213	-1,028.10 ⁻¹ *	-	0,207**	-	(11)
ALT = a + b . PT3	2,361	1,143**	-	0,244**	-	(12)
<i>Solo x solo</i>						
PT1 = a + b . DS1	9,544.10 ⁻¹	-3,983.10 ⁻¹ **	-	-0,913**	-	(13)
DS1 = a + b . PT1	2,242	-2,091**	-	-0,913**	-	(14)
PTc1 = a + b . DS1	9,810.10 ⁻¹	-3,994.10 ⁻¹ **	-	-0,977**	-	(15)
PTc1 = a + b . PT1	1,043.10 ⁻¹	8,060.10 ⁻¹ **	-	0,873**	-	(16)

^(a) AME = altura média de inserção da primeira espiga (m), ALT = altura média de planta (m), MSF = produtividade de massa seca da forragem (kg/ha), DS1 e DS3 = são respectivamente as densidades do solo (kg/dm³) nas profundidades de zero-0,10 e de 0,20 a 0,30 m, PT1, PT2 e PT3 são respectivamente a porosidade total determinada (m³/m³) nas profundidades de zero-0,10, 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,30 m do solo e PTc1 = porosidade total calculada (m³/m³) na profundidade de zero-0,10 m; ^(b) * = significativo a 5%, e ** = significativo a 1%.

foram aquelas que apresentaram as maiores correlações (r entre 0,873-0,977). Aquelas estabelecidas entre a PT e a DS (Eq. 13, 14 e 15) apresentaram racionalmente a relação inversa entre causa e efeito. Portanto, com o aumento da densidade do solo ocorrerá a diminuição na sua porosidade total, com a probabilidade variando entre 83,4 e 95,5% de acerto. Já com relação aos atributos PTc1 e PT1 (Eq. 16), o primeiro pode ser estimado em função do segundo e vice-versa, com a probabilidade de 76,2% de acerto. Desta forma, a partir da confiável e elevada correlação entre tais variáveis, o uso da metodologia para determinação da porosidade total ficará de acordo com a conveniência de cada usuário, uma vez que tais métodos possuem correlações diretas, elevadas e altamente significativas. Assim, considerando-se que o método direto (Anel Volumétrico) é o mais fácil de executar, deve-se, portanto, ficar o PT

estabelecido como variável independente e o PTc como dependente [PTc=f(PT)], como nas Eqs. (14) e (16). Essa relativa facilidade é corroborada devido ao fato de que no método indireto deve ser empregado, a mais que no direto, o Método do Álcool para a determinação da densidade da partícula, conforme já discutido no subcapítulo anterior (tópico 4.2.1.1.3.).

Desta forma, as correlações entre as porosidades totais do solo (PTxPTc), estabelecidas exclusivamente para as mesmas camadas (Quadro 3), sendo todas positivas, elevadas e altamente significativas, denotaram que a porosidade total determinada (PT) foi praticamente igual à porosidade total calculada (PTc). Tal fato ficou semelhante aos resultados apresentados por Sampaio et al. (2006), que apresentaram dados muito semelhantes para as distintas metodologias de obtenção da porosidade total (calculada e determinada).

4.2.2. Regressão múltipla

Em relação aos atributos da planta (MSF, *l*-AME, ALT e DMC), quando estabelecidos como variáveis dependentes, e aqueles do solo (AR, SI, AG, DP, DS, PT e PTc), como variáveis independentes, houve alguma correlação linear múltipla, com significância de 10% entre eles. Desta forma, as equações ajustadas foram as seguintes:

$$\text{MSF} = 2,052.10^4 + 8,070.10^3 \cdot \text{PT1} - 2,975.10^4 \cdot \text{PT2} \quad (r^2 = 0,080^{**}) \quad (17)$$

$$\text{AME} = 1,273.10^{-1} + 8,130.10^{-2} \cdot \text{DP1} - 9,950.10^{-2} \cdot \text{DP2} + 2,636.10^2 \cdot \text{PT3} \quad (r^2 = 0,100^{**}) \quad (18)$$

$$\text{ALT} = 3,474 - 7,000.10^{-4} \cdot \text{AR3} - 1,200.10^{-3} \cdot \text{AG2} - 2,842.10^{-1} \cdot \text{DS2} + 1,430 \cdot \text{PT3} \quad (r^2 = 0,130^{**}) \quad (19)$$

onde: **MSF** é a produtividade da massa seca da forragem (kg/ha), **AME** é a altura média de inserção da primeira espiga (m), **ALT** é a altura média da planta (m), PT1, PT2 e PT3 são respectivamente as porosidades totais determinadas em profundidade do solo (m³/m³), DP1 e DP2 são respectivamente a densidade da partícula na primeira e na segunda camadas (kg/dm³), DS2 é a densidade global do solo na segunda camada (kg/dm³), AR3 é a fração areia do solo na terceira camada (kg/kg) e AG2 é fração argila do solo na segunda camada (kg/kg). Portanto, em relação ao MSF, sua estimativa pode ser implementada em 4% a mais, a partir da Eq. (17), tendo-se os valores da porosidade total determinada para as duas primeiras camadas do solo (PT1e PT2), uma vez que tais estimativas, estabelecidas pelas Eq. (7) e (8), ficaram entre 3,9 e 4,0%.

4.3. Análise geoestatística dos atributos estudados

4.3.1. Análise semivariográfica simples

4.3.1.1. Ajuste dos semivariogramas simples dos atributos estudados

No Quadro 5 estão contidos os parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto – SP. Já nas Figuras 7-14 estão representados os referidos semivariogramas simples. Assim, com exceção dos atributos DMC, r -SI1, r -DP1, DP2, DP3 e PTc3, que apresentaram efeito pepita puro, todos os demais apresentaram dependência espacial. Ao que se referiu à densidade de partícula, uma vez que nas três profundidades tal atributo denotou efeito pepita puro, Eguchi et al. (2002) e Santos et al. (2006) observaram a mesma tendência, portanto não indicando dependência espacial para esse atributo.

A análise dos parâmetros semivariográficos (Quadro 5) revelou excelentes desempenhos, tanto para os atributos da planta quanto para os do solo. Os que apresentaram os maiores coeficientes de determinação (r^2) e, conseqüentemente, os de melhores ajustes, foram: a) *planta*: a ALT foi o melhor semivariograma ajustado, uma vez que apresentou os maiores valores, tanto para o coeficiente de determinação ($r^2=0,823$) quanto para o grau da dependência espacial (ADE=82,8%) e desta forma, o MSF ocupou a terceira posição; b) *atributos granulométricos*: o l -SI2 apresentou o maior r^2 (0,912), sendo inclusive o maior entre todos os atributos estudados, com um ADE médio de 71,6%, e c) *relação massa/volume*: o DS1 e o PTc1 foram respectivamente os melhores semivariogramas ajustados, respectivamente com os r^2 de 0,906 e 0,855, assim como com os respectivos ADEs de 72,2 e 83,6%.

Com exceção dos atributos DMC, r -SI1, r -DP1, DP2, DP3 e PTc3, que apresentaram efeito pepita puro, os demais evidenciaram que suas distribuições no espaço apresentaram dependência espacial. A produtividade de massa seca da forragem do milho (MSF) revelou que 73,5% da sua variação total foram explicados pela dependência espacial. Por outro lado, o equivalente efeito pepita, representante do erro do acaso, foi de 26,5%. De forma semelhante, tais cifras foram de 71,6 e 28,4% para o l -SI2, assim como de 72,2 e 27,8% para o DS1. Portanto, exclusivamente com relação aos atributos do solo, tais cifras se encaixaram na faixa de 26,0 e 89,8% de avaliação do grau da dependência espacial encontrada na literatura (Sousa et al., 1999; Gonçalves et al., 2000; Barbieri et al., 2002; Gonçalves & Folegatti, 2002; Rabah, 2002; Rodrigues, 2002; Carvalho et al., 2002; 2003; Kitamura, 2004; Souza et al., 2004a,b,c; Grego & Vieira, 2005; Milani et al., 2005; Schaffrath, 2006 e Siqueira, 2006).

Quadro 5: Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.

Atributo (a)	Modelo (b)	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ +C)	Parâmetros		r ²	SQR (c)	ADE (d)	Classe de dependência espacial
				Variância Estrutural (C)	Alcance (m) (A ₀)				
<i>γ(h) simples dos atributos da planta</i>									
MSF (kg/ha)	exp	1,250.10 ⁶	4,715.10 ⁶	3,465.10 ⁶	11,8	0,770	1,667.10 ¹²	73,5	moderada
l-AME (m) (e)	gau	1,580.10 ⁻⁴	4,640.10 ⁻⁴	3,060.10 ⁻⁴	27,9	0,789	3,541.10 ⁻⁸	65,9	moderada
ALT (m)	gau	1,550.10 ⁻³	9,000.10 ⁻³	7,450.10 ⁻³	23,9	0,823	1,481.10 ⁻⁵	82,8	alta
DMC (cm)	epp	1,572.10 ⁻²	1,572.10 ⁻²	-	-	-	-	-	-
<i>γ(h) simples dos atributos granulométricos do solo</i>									
r-AR1 (g/kg) (e)	exp	1,509.10 ²	3,218.10 ²	1,709.10 ²	38,4	0,808	2,489.10 ³	53,1	moderada
AR2 (g/kg)	esf	1,050.10 ²	4,577.10 ²	3,527.10 ²	17,4	0,882	1,672.10 ⁴	77,1	alta
AR3 (g/kg) (e)	esf	1,020.10 ²	4,266.10 ²	3,246.10 ²	15,4	0,811	2,121.10 ⁴	76,1	alta
r-SII (g/kg) (e)	epp	2,019.10 ²	2,019.10 ²	-	-	-	-	-	-
l-SI2 (g/kg) (e)	exp	2,070.10 ⁻³	7,280.10 ⁻³	5,210.10 ⁻³	46,8	0,912	1,459.10 ⁻⁶	71,6	moderada
r-SI3 (g/kg) (e)	exp	8,610.10 ¹	1,875.10 ²	1,014.10 ²	30,3	0,734	1,418.10 ³	54,1	moderada
AG1 (g/kg)	esf	2,810.10 ¹	1,959.10 ²	1,678.10 ²	12,8	0,827	3,295.10 ³	82,7	alta
AG2 (g/kg)	esf	2,350.10 ¹	2,400.10 ²	2,165.10 ²	13,7	0,720	1,310.10 ⁴	90,2	alta
AG3 (g/kg)	esf	1,710.10 ¹	2,479.10 ²	2,308.10 ²	8,5	0,599	2,171.10 ⁴	93,1	alta
<i>γ(h) simples dos atributos de relação massa/volume do solo</i>									
r-DP1 (kg/dm ³) (e)	epp	5,410.10 ⁻¹	5,410.10 ⁻¹	-	-	-	-	-	-
DP2 (kg/dm ³)	epp	3,098.10 ⁻³	3,098.10 ⁻³	-	-	-	-	-	-
DP3 (kg/dm ³)	epp	2,516.10 ⁻³	2,516.10 ⁻³	-	-	-	-	-	-
DS1 (kg/dm ³)	gau	5,370.10 ⁻³	1,934.10 ⁻²	1,397.10 ⁻²	23,0	0,906	1,182.10 ⁻⁵	72,2	moderada
DS2 (kg/dm ³)	esf	7,260.10 ⁻⁴	2,352.10 ⁻³	1,626.10 ⁻³	12,9	0,707	6,287.10 ⁻⁷	69,1	moderada
DS3 (kg/dm ³)	gau	3,700.10 ⁻³	5,000.10 ⁻³	1,500.10 ⁻³	13,9	0,706	3,570.10 ⁻⁷	26,0	moderada
PT1 (m ³ /m ³)	gau	3,700.10 ⁻⁴	3,620.10 ⁻³	3,250.10 ⁻³	11,3	0,655	3,268.10 ⁻⁶	89,8	alta
PT2 (m ³ /m ³)	esf	4,300.10 ⁻⁵	2,490.10 ⁻⁴	2,060.10 ⁻⁴	6,8	0,780	5,576.10 ⁻⁹	82,8	alta
PT3 (m ³ /m ³)	exp	1,360.10 ⁻⁴	3,030.10 ⁻⁴	1,670.10 ⁻⁴	23,7	0,400	4,727.10 ⁻⁸	55,1	moderada
PTc1 (m ³ /m ³)	gau	5,240.10 ⁻⁴	3,170.10 ⁻³	2,646.10 ⁻³	9,0	0,855	8,614.10 ⁻⁷	83,6	alta
r-PTc2 (m ³ /m ³) (e)	exp	1,620.10 ⁻⁵	4,950.10 ⁻⁵	3,330.10 ⁻⁵	8,3	0,660	3,86110 ⁻⁸	67,3	moderada
PTc3 (m ³ /m ³)	epp	1,049.10 ⁻³	1,049.10 ⁻³	-	-	-	-	-	-

(a) MSF = produtividade de matéria seca da forragem; AME = altura de inserção da primeira espiga; ALT = altura da planta; DMC = diâmetro do colmo; AR, SI e AG, são respectivamente as frações areia, silte e argila do solo; DP, DS, PT e PTC, são respectivamente a densidade da partícula, a densidade do solo, a porosidade total, determinada (método direto) e a porosidade total calculada (método indireto); (b) exp.= exponencial, gau.= gaussiano, esf.= esférico e epp.= efeito pepita puro; (c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; (d) ADE = avaliador da dependência espacial; (e) atributos precedidos de "r" e "γ" tiveram respectivamente valores representados pelos logaritmos decimais e pelos resíduos.

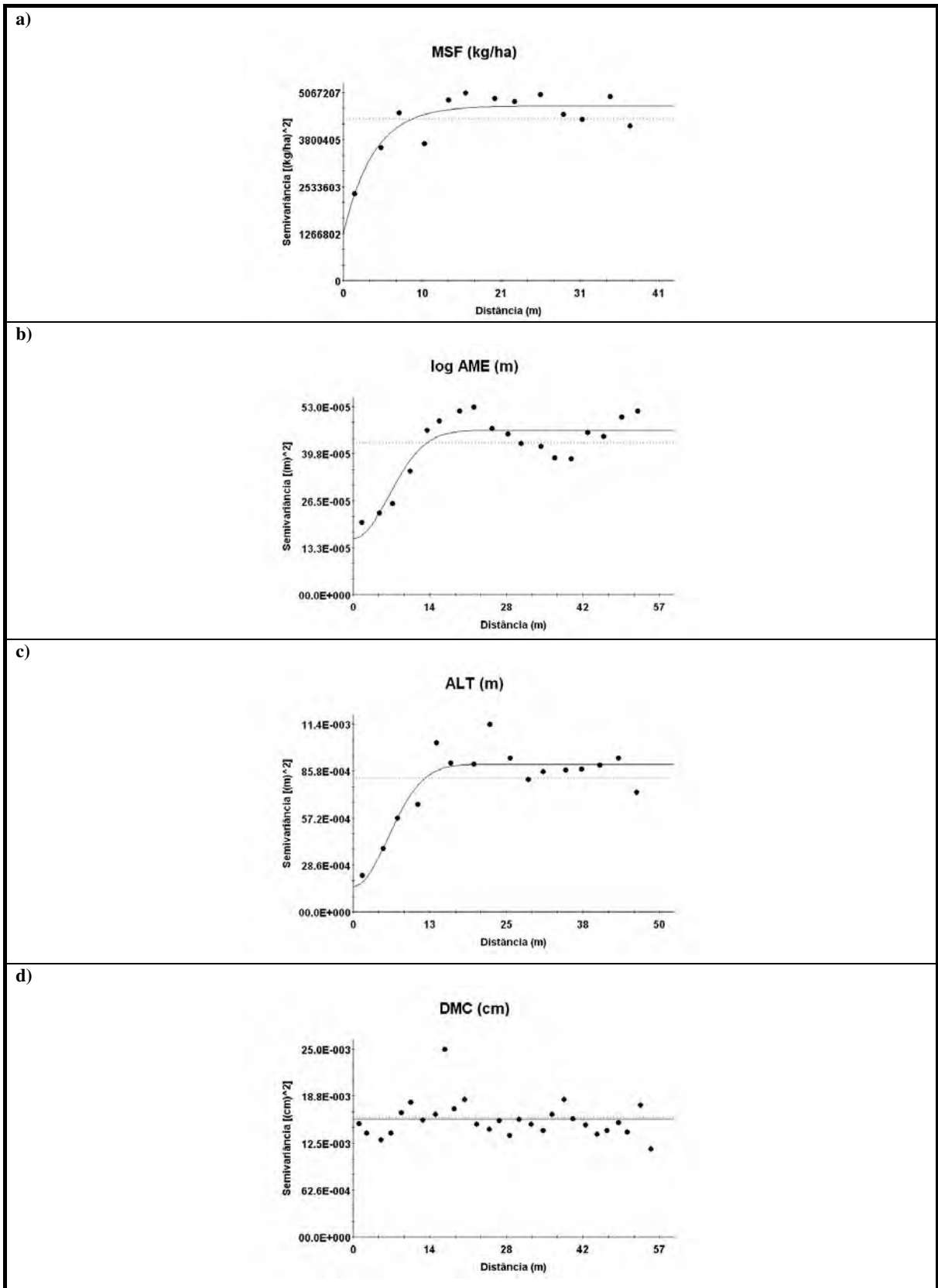


Figura 7: Semivariogramas simples dos atributos (MSF, log AME, ALT e DMC) da produtividade do milho sob um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.

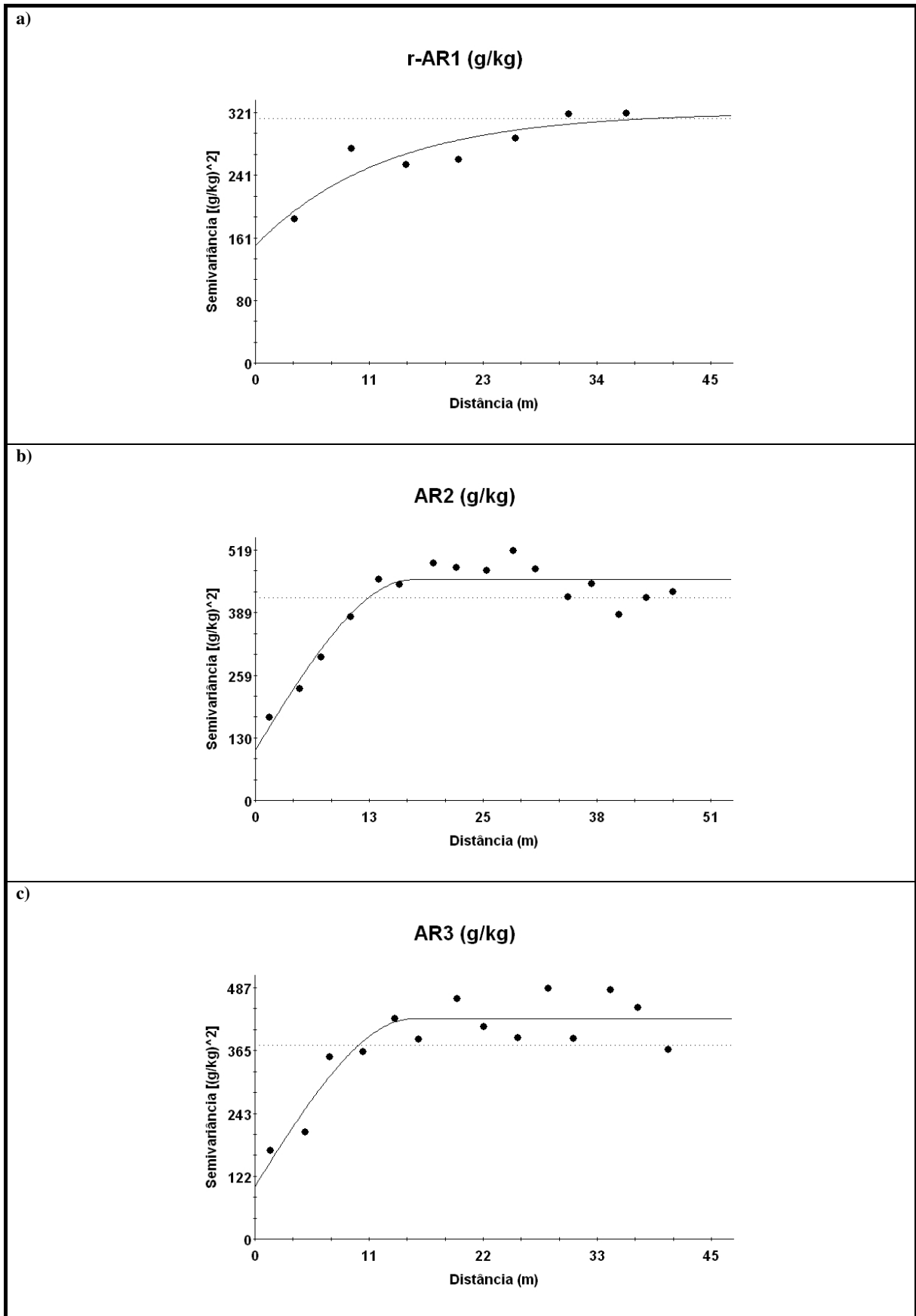


Figura 8: Semivariogramas simples dos atributos granulométricos (r-AR1, AR2 e AR3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.

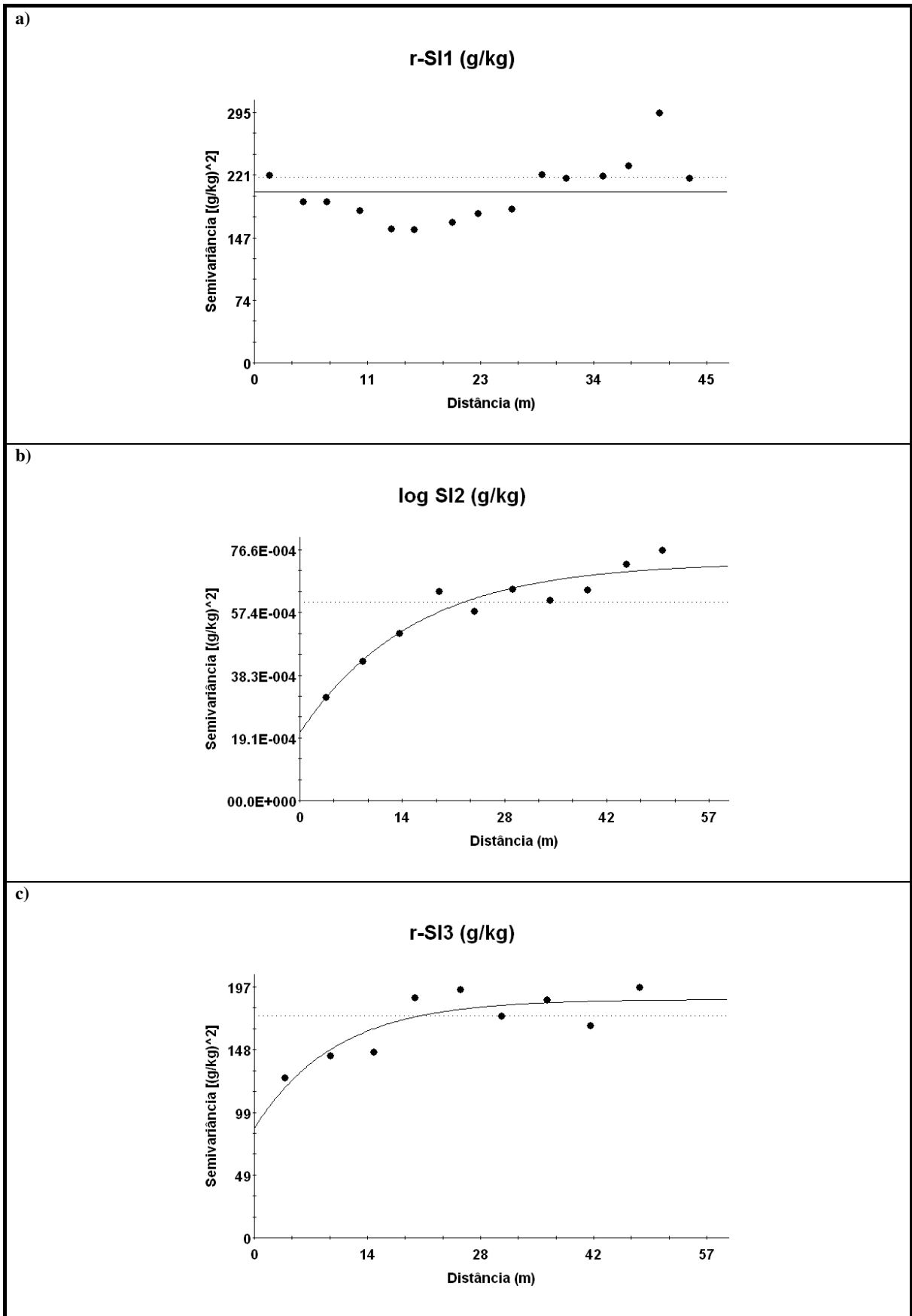


Figura 9: Semivariogramas simples dos atributos granulométricos (r-SI1, log SI2 e r-SI3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.

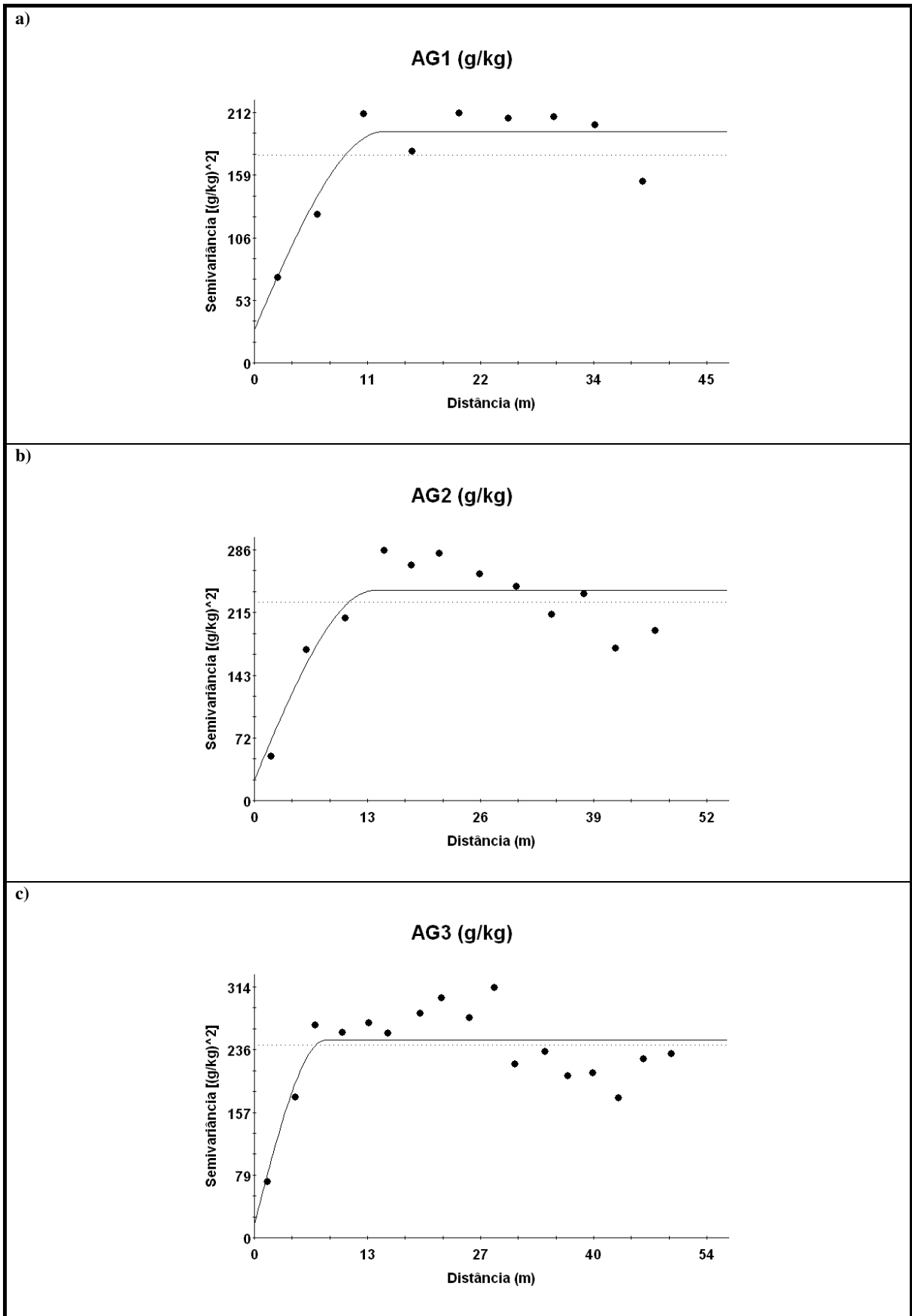


Figura 10: Semivariogramas simples dos atributos granulométricos (AG1, AG2 e AG3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.

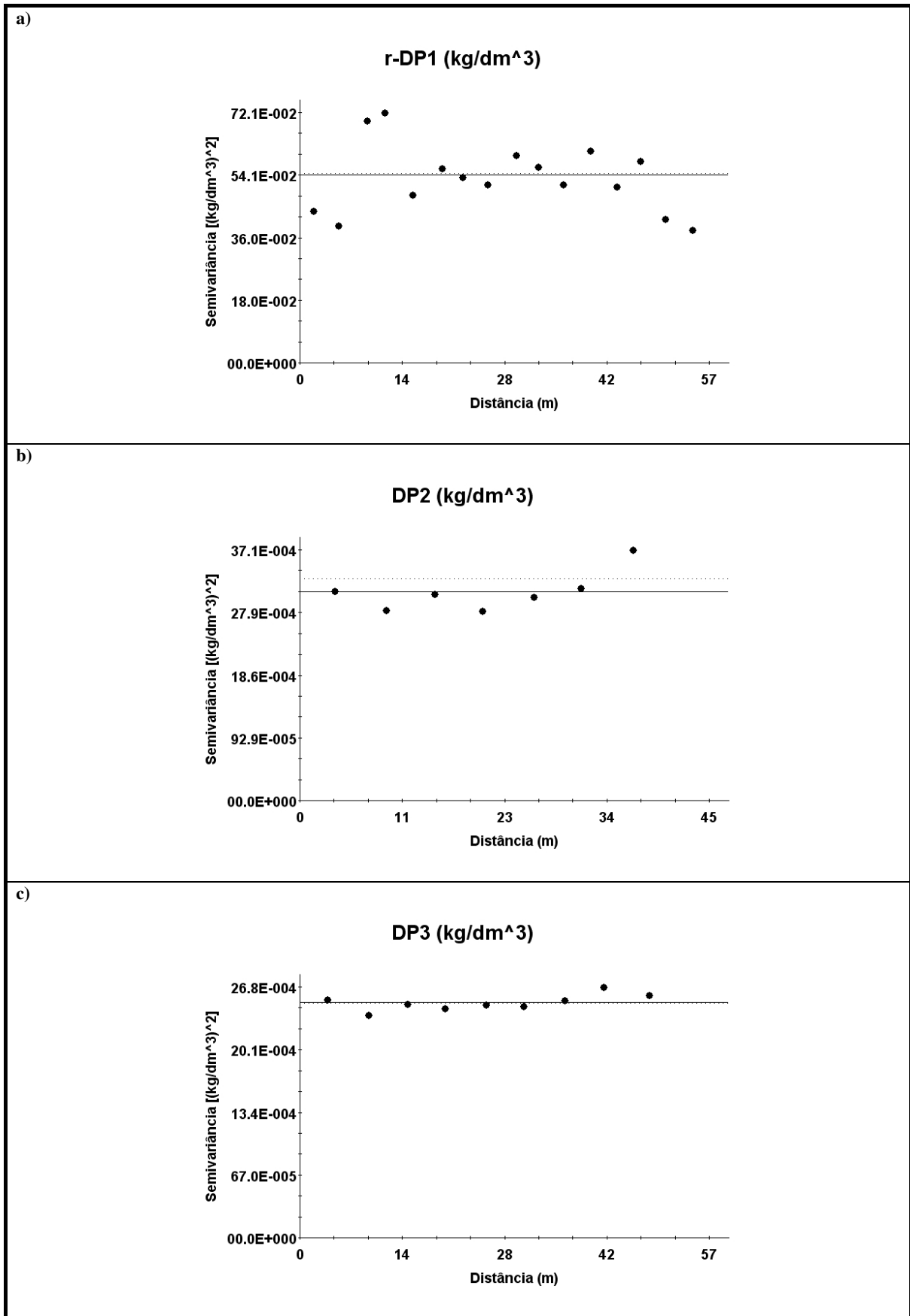


Figura 11: Semivariogramas simples dos atributos de relação massa/volume (r-DP1, DP2 e DP3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.

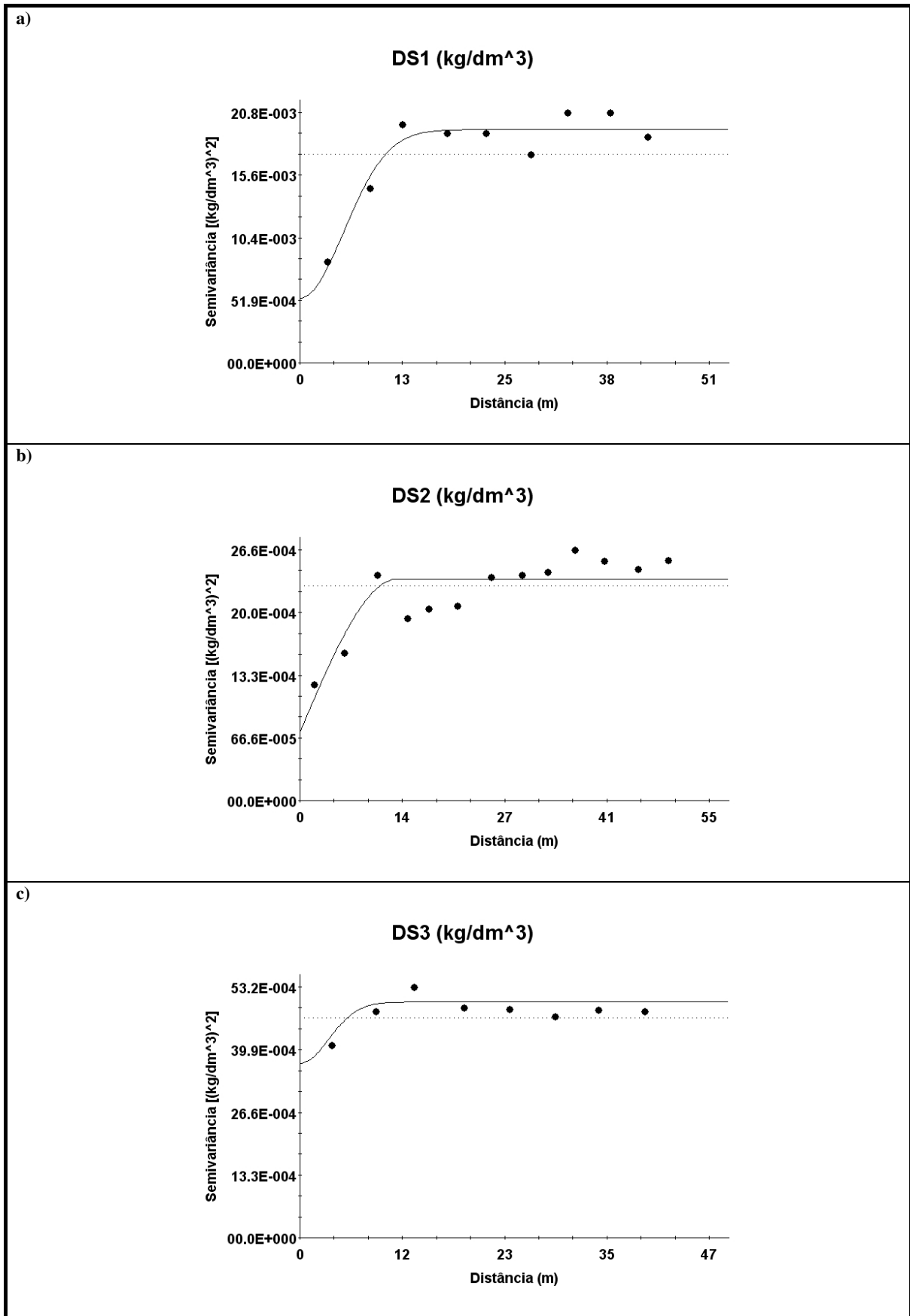


Figura 12: Semivariogramas simples dos atributos de relação massa/volume (DS1, DS2 e DS3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.

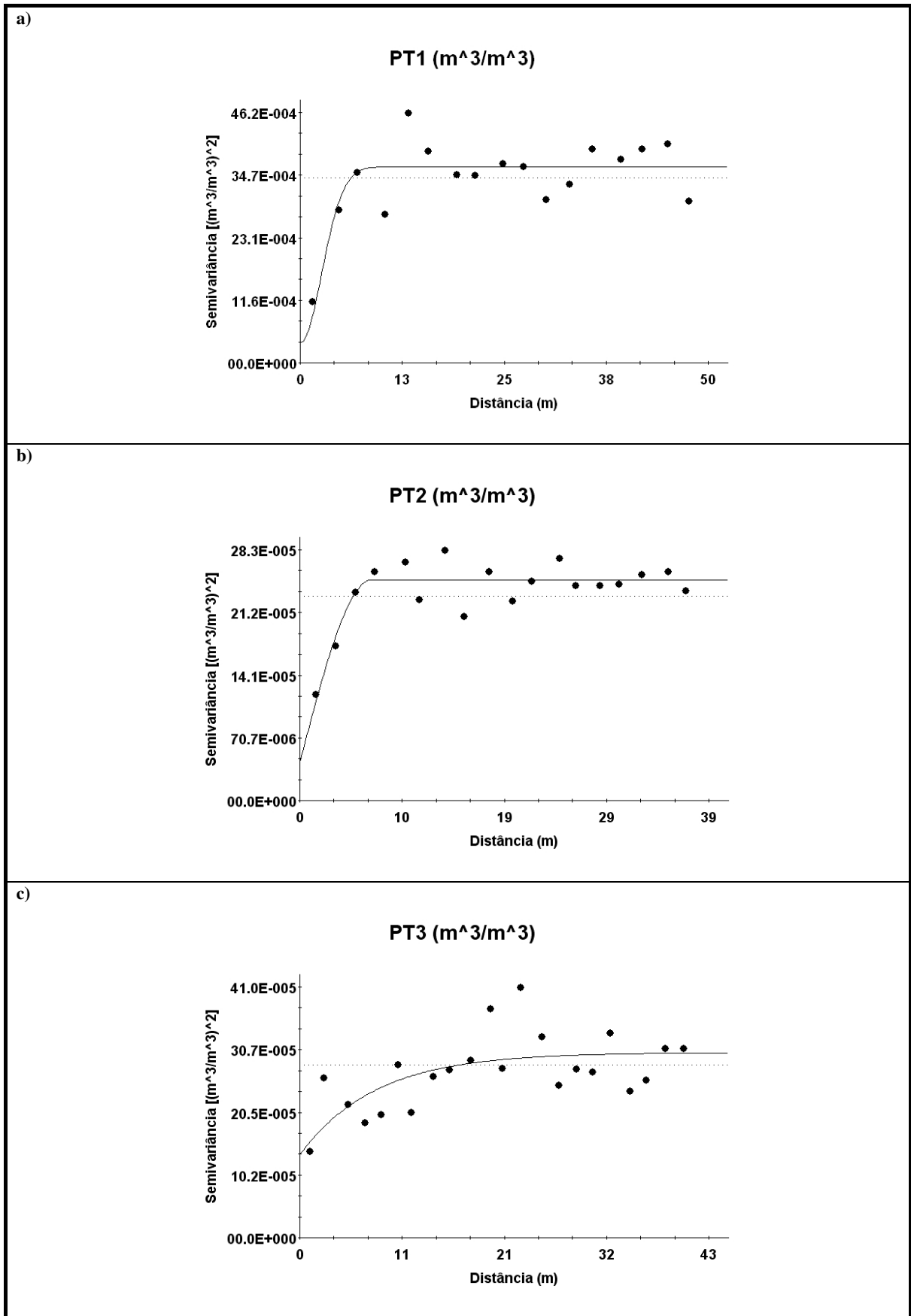


Figura 13: Semivariogramas simples dos atributos de relação massa/volume (PT1, PT2 e PT3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.

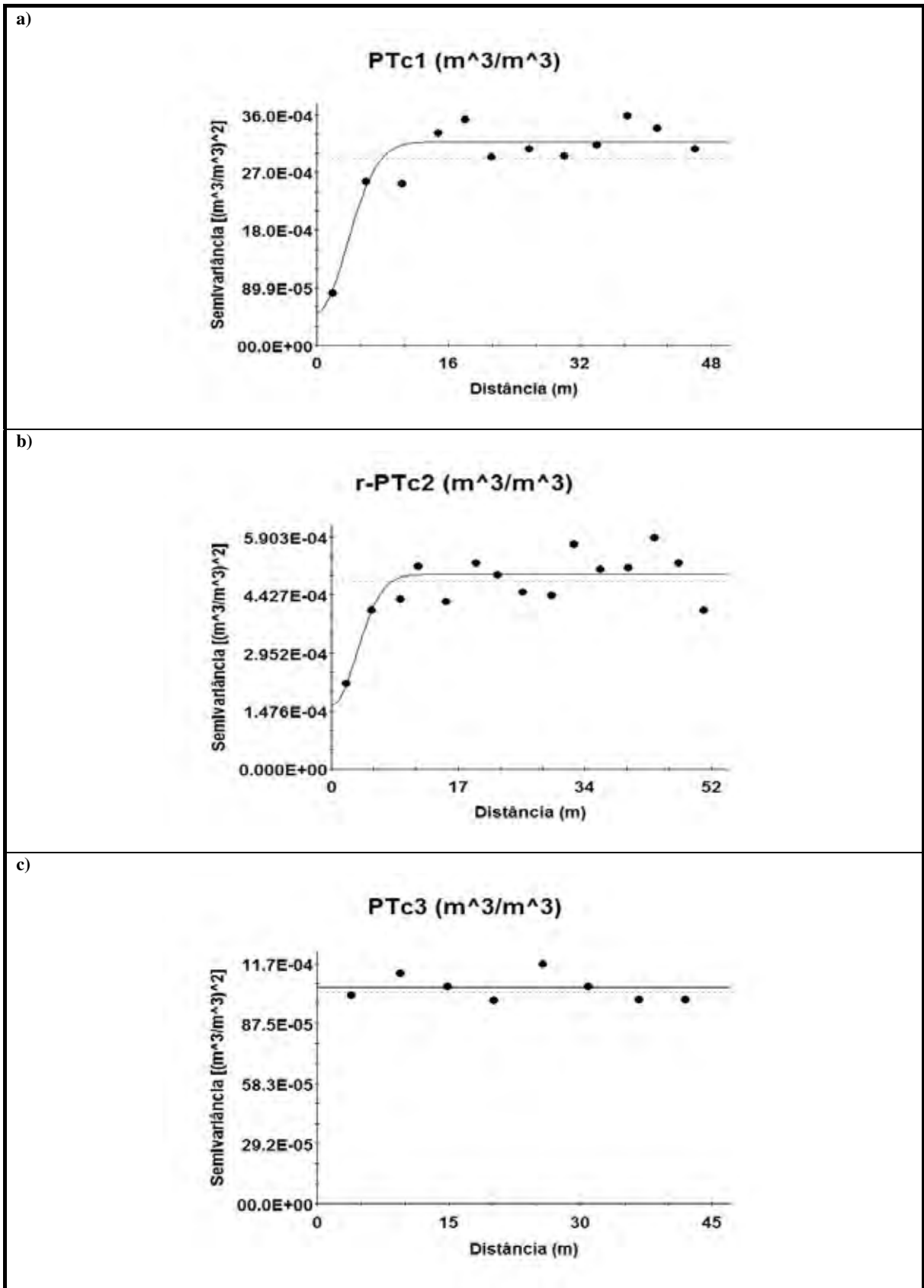


Figura 14: Semivariogramas simples dos atributos de relação massa/volume (PTc1, r-PTc2 e PTc3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.

Constatou-se, para os atributos estudados, que os modelos ajustados (Quadro 5 e Figuras 7-14) foram o exponencial (MSF, r -AR1, l -SI2, r -SI3, PT3 e r -PTc2), gaussiano (l -AME, ALT, DS1, DS3, PT1 e PTc1) e o esférico (AR2, AR3, AG1, AG2, AG3, DS2 e PT2). Com relação aos atributos da granulometria do solo, o modelo exponencial e o esférico ficaram, em parte, em sintonia com os ajustes apresentados por diversos trabalhos da mesma natureza, como os de Vieira (1997), Sousa et al. (1999), Gonçalves et al. (2000), Coelho Filho et al. (2001), Gonçalves & Folegatti (2002), Mello (2002), Rabah (2002), Roque et al. (2002), Abreu (2003) e Kitamura (2004), uma vez que neles ora um ora outro modelo foi observado. Para os atributos da relação massa/volume do solo, os modelos ajustados concordaram parcialmente com os de Carvalho et al. (2002; 2003), Johann et al. (2004), Souza et al. (2004a), Andrade et al. (2005), Milani et al. (2005), Santos et al. (2006), Schaffrath (2006) e Siqueira (2006), uma vez que neles ora um ora outro modelo também foi observado.

Os alcances da dependência espacial, observados no Quadro 5 para o MSF, l -AME e DMC, apresentaram respectivamente os valores de 11,8; 27,9 e 23,9 m. Para a granulometria do solo, variaram entre 8,5 m (AG3) e 46,8 m (l -SI2), ficando de acordo com Souza et al. (1997), Vieira (1997), Sousa et al. (1999) Gonçalves et al. (2001), Eguchi et al. (2002) e Roque et al. (2002), que apresentaram valores entre 14,5 m (silte) a 60,0 m (silte). Já para os atributos da relação massa/volume, variaram entre 6,8 m (PT2) e 23,7 m (PT3), semelhantes aos de Carvalho et al. (2002; 2003), de Grego & Vieira (2005), de Milani et al. (2005) e de Siqueira (2006), que variaram entre 3,9-23,7 m, para os diferentes dados de porosidade total, assim como entre 1,0-13,1 m para dados de densidade do solo. Por outro lado, valores superiores aos observados pela presente pesquisa, relacionados na faixa de 27,0-255,0 m, foram observados por Johann et al. (2004), Souza et al. (2004c) e Andrade et al. (2005).

4.3.1.2. Validação cruzada dos semivariogramas simples dos atributos estudados

No Quadro 6 estão contidos os parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens simples de alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto – SP. Já nas Figuras 15-21 estão representadas as referidas validações cruzadas.

Os dados evidenciaram (Quadro 6 e Figuras 15-21) que os atributos da planta apresentaram bom desempenho do coeficiente de correlação (r), entre os valores observados e estimados da validação cruzada, variando entre 0,505 (MSF) e 0,761 (ALT), com apreciáveis coeficientes angulares (b), (0,894 para o MSF e de 0,997 para o DMC). Tal fato ficou relativamente

Quadro 6: Parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens de alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.

Atributo ^(a)	Erro padrão		Coeficiente de correlação (r)	VO = a + b . VE ^(b)	
	observado	estimado		a	b
<i>$\gamma(h)$ simples dos atributos da planta</i>					
MSF (kg/ha)	0,147	1801	0,505	1,641.10 ³	8,940.10 ⁻¹
<i>l</i> -AME (m) ^(c)	0,099	0,015	0,679	4,000.10 ⁻⁴	9,970.10 ⁻¹
ALT (m)	0,077	-0,059	0,761	8,070.10 ⁻²	9,700.10 ⁻¹
DMC (cm) ^(d)	-	-	-	-	-
<i>$\gamma(h)$ simples dos atributos granulométricos do solo</i>					
<i>r</i> -AR1 (g/kg) ^(c)	0,130	14,389	0,584	1,260.10 ⁻²	1,030
AR2 (g/kg)	0,096	14,837	0,691	-2,199.10 ⁻¹	1,000
AR3 (g/kg)	0,097	13,878	0,698	-7,762	1,010
<i>r</i> -SI1(g/kg) ^(c,d)	-	-	-	-	-
<i>l</i> -SI2 (g/kg) ^(c)	0,089	0,054	0,725	-2,830.10 ⁻²	1,015
<i>r</i> -SI3 (g/kg) ^(c)	0,151	11,434	0,502	3,590.10 ⁻²	9,400.10 ⁻¹
AG1 (g/kg)	0,104	9,985	0,659	5,875	9,420.10 ⁻¹
AG2 (g/kg)	0,105	11,476	0,648	1,002.10 ¹	9,280.10 ¹
AG3 (g/kg)	0,094	11,163	0,695	5,284	9,690.10 ⁻¹
<i>$\gamma(h)$ simples dos atributos de relação massa/volume do solo</i>					
<i>r</i> -DP1 (kg/dm ³) ^(c,d)	-	-	-	-	-
DP2 (kg/dm ³) ^(d)	-	-	-	-	-
DP3 (kg/dm ³) ^(d)	-	-	-	-	-
DS1 (kg/dm ³)	0,103	0,097	0,674	3,560.10 ⁻²	9,770.10 ⁻¹
DS2 (kg/dm ³)	0,116	0,038	0,612	1,111.10 ⁻¹	9,340.10 ⁻¹
DS3 (kg/dm ³)	0,326	0,068	0,127	9,145.10 ⁻¹	4,580.10 ⁻¹
PT1 (m ³ /m ³)	0,100	0,046	0,609	6,800.10 ⁻²	8,220.10 ⁻¹
PT2 (m ³ /m ³)	0,163	0,014	0,420	6,140.10 ⁻²	7,870.10 ⁻¹
PT3 (m ³ /m ³)	0,151	0,014	0,417	1,300.10 ⁻²	9,580.10 ⁻¹
PTc1 (m ³ /m ³)	0,105	0,042	0,628	4,000.10 ⁻²	8,980.10 ⁻¹
<i>r</i> -PTc2 (m ³ /m ³) ^(c)	0,160	0,020	0,376	0,000	6,940.10 ⁻¹
PTc3 (m ³ /m ³) ^(d)	-	-	-	-	-

^(a)MSF = produtividade de matéria seca da forragem; AME = altura de inserção da primeira espiga; ALT = altura da planta; DMC = diâmetro do colmo; AR, SI e AG, são respectivamente as frações areia, silte e argila do solo; DP, DS, PT e PTc, são respectivamente a densidade da partícula, a densidade do solo, a porosidade total determinada (método direto) e porosidade total calculada (método indireto); ^(b) VO = valor observado e VE = valor estimado; ^(c) atributos precedidos de "l" e "r" tiveram respectivamente valores representados pelos logaritmos decimais e pelos resíduos; ^(d) epp = efeito pepita puro.

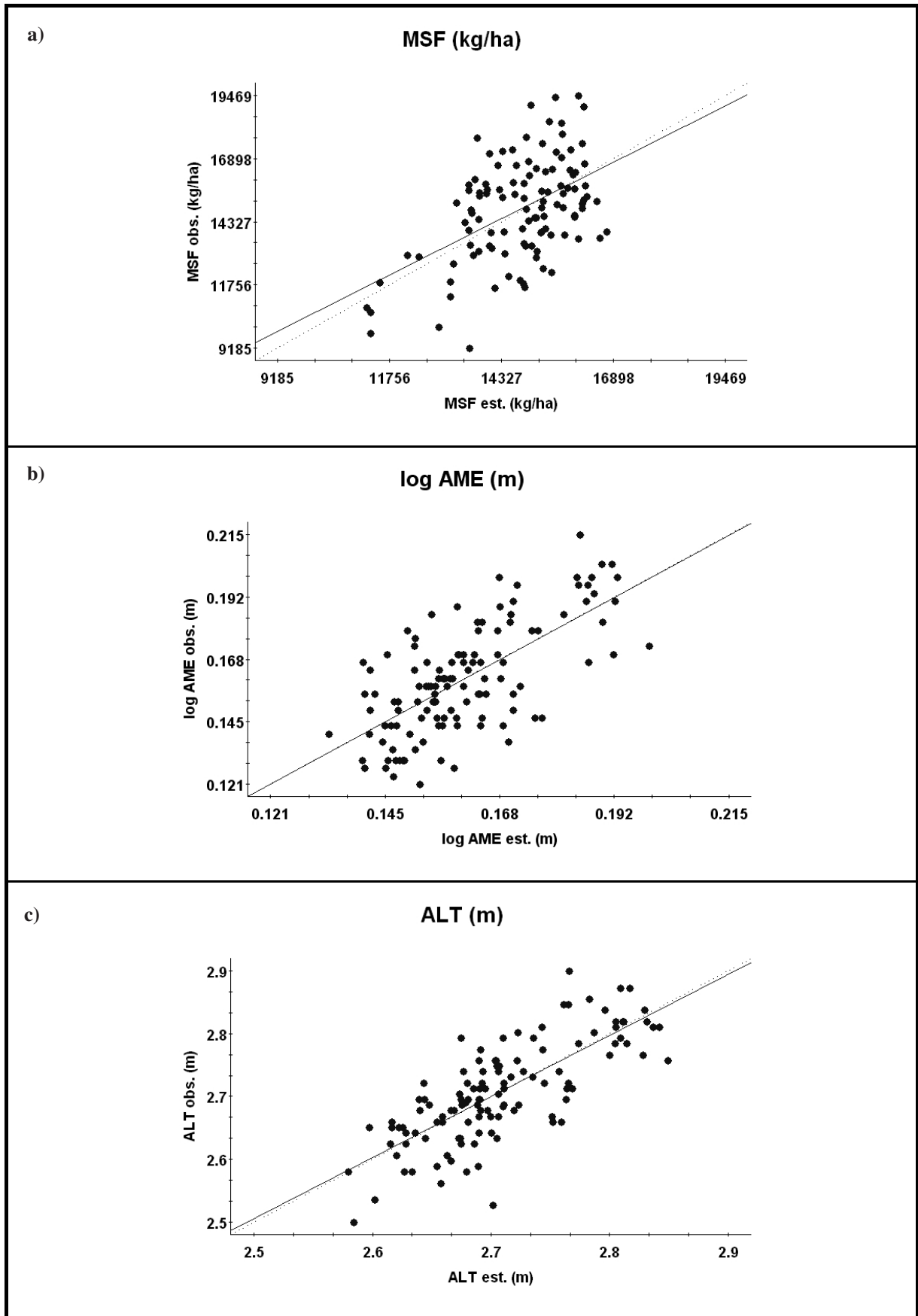


Figura 15: Validação cruzada dos atributos (MSF, log AME e ALT) da produtividade do milho em um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

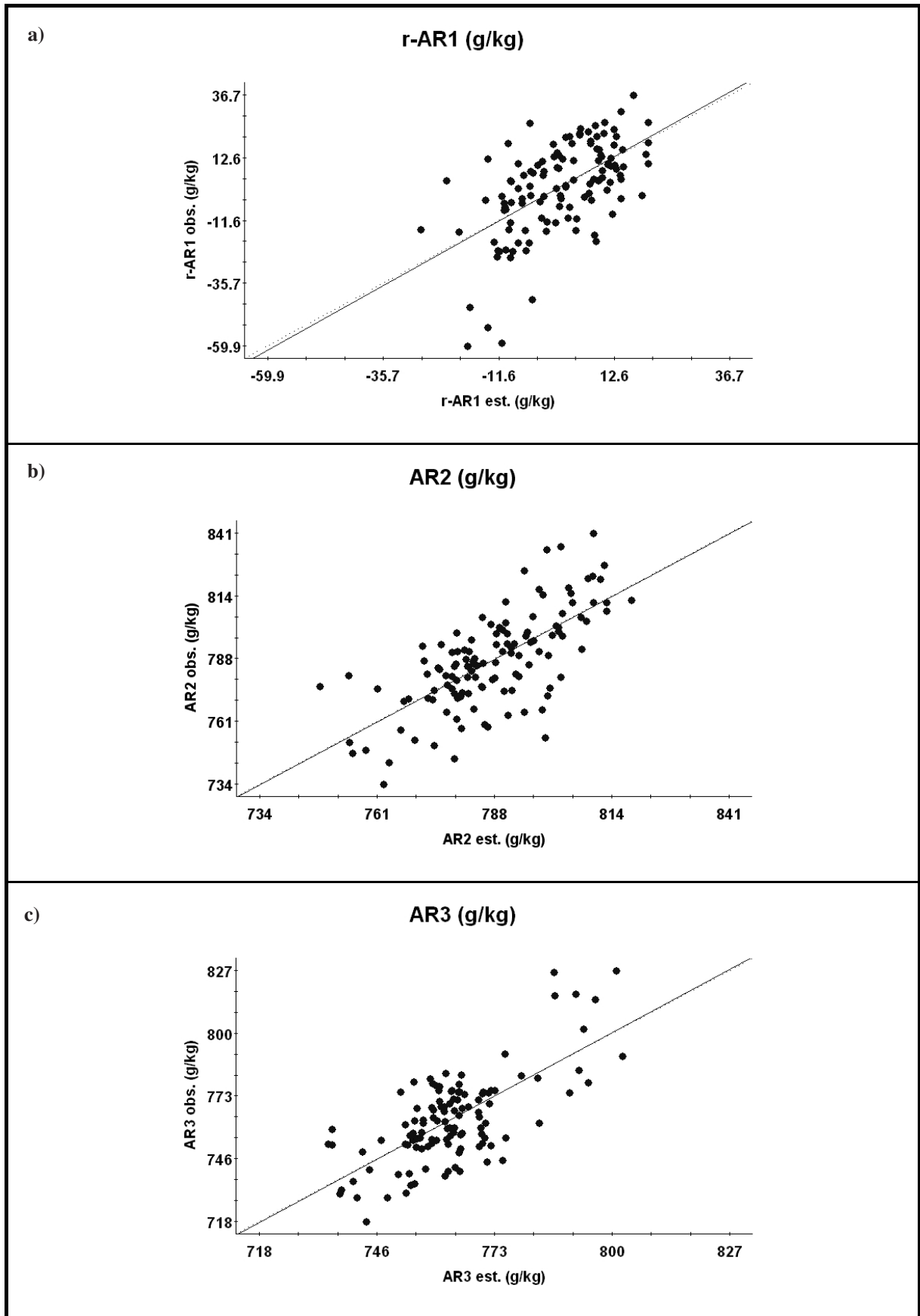


Figura 16: Validação cruzada dos atributos granulométricos (r -AR1, AR2 e AR3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

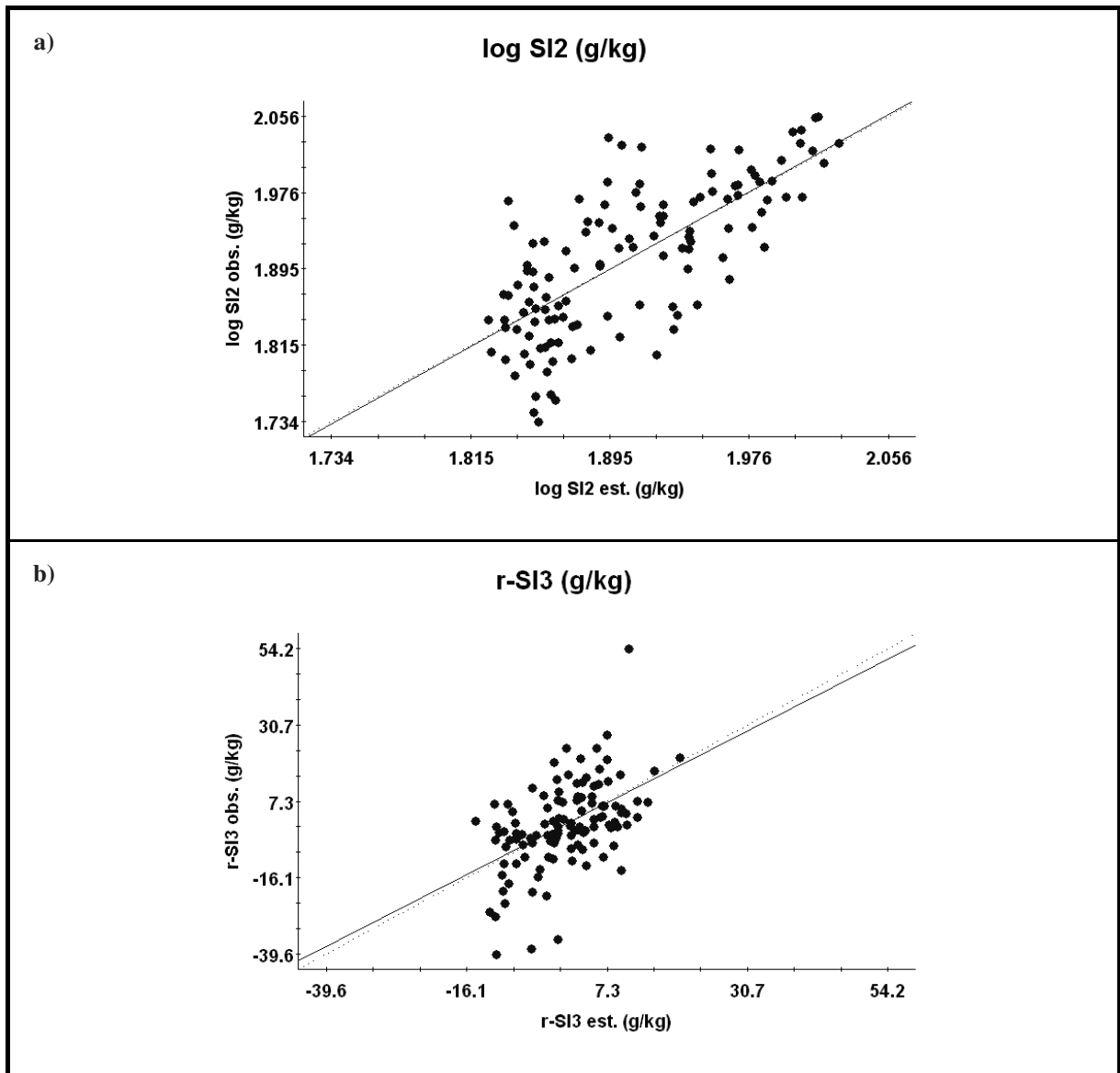


Figura 17: Validação cruzada dos atributos granulométricos (log SI2 e r -SI3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

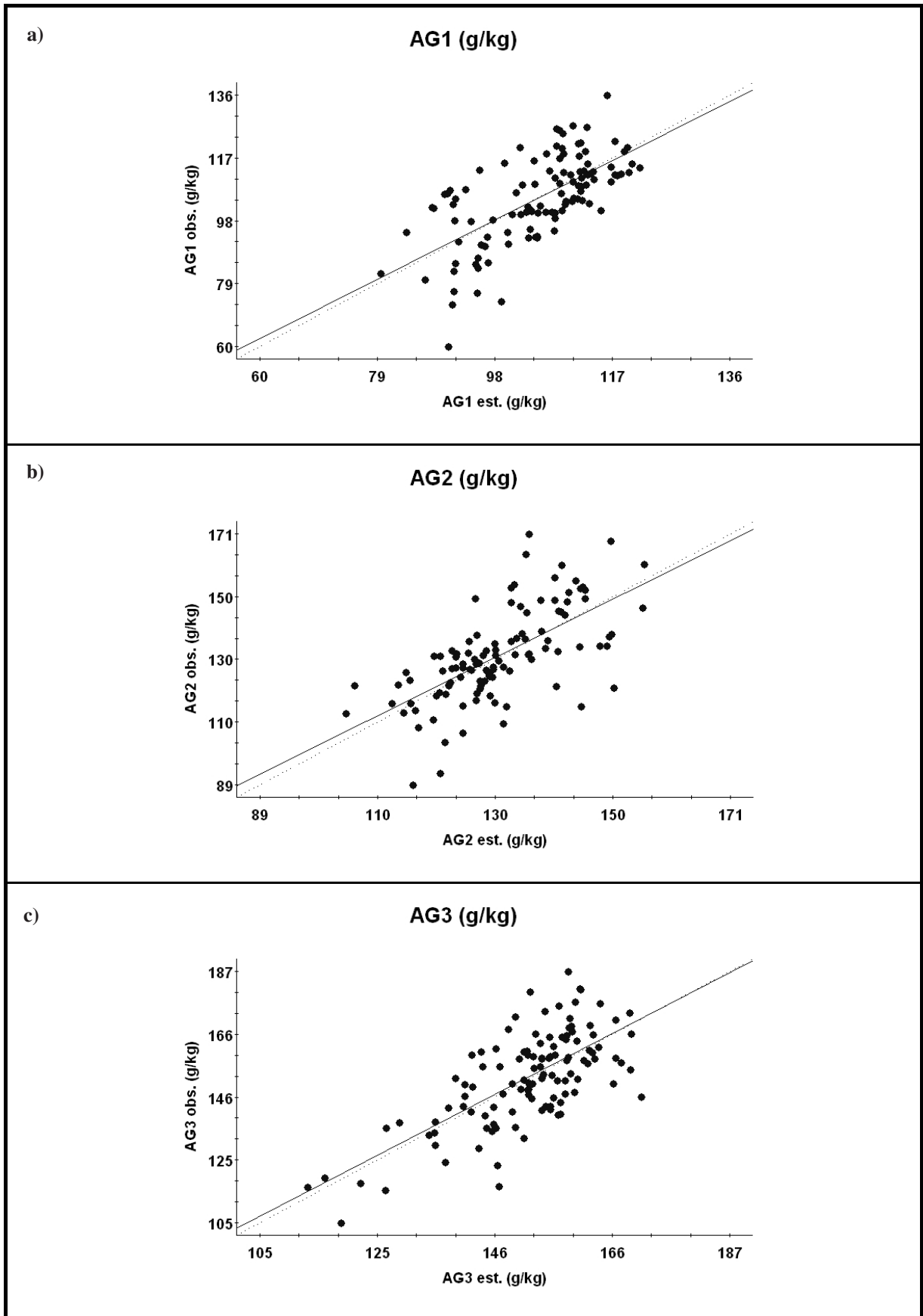


Figura 18: Validação cruzada dos atributos granulométricos (AG1, AG2 e AG3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

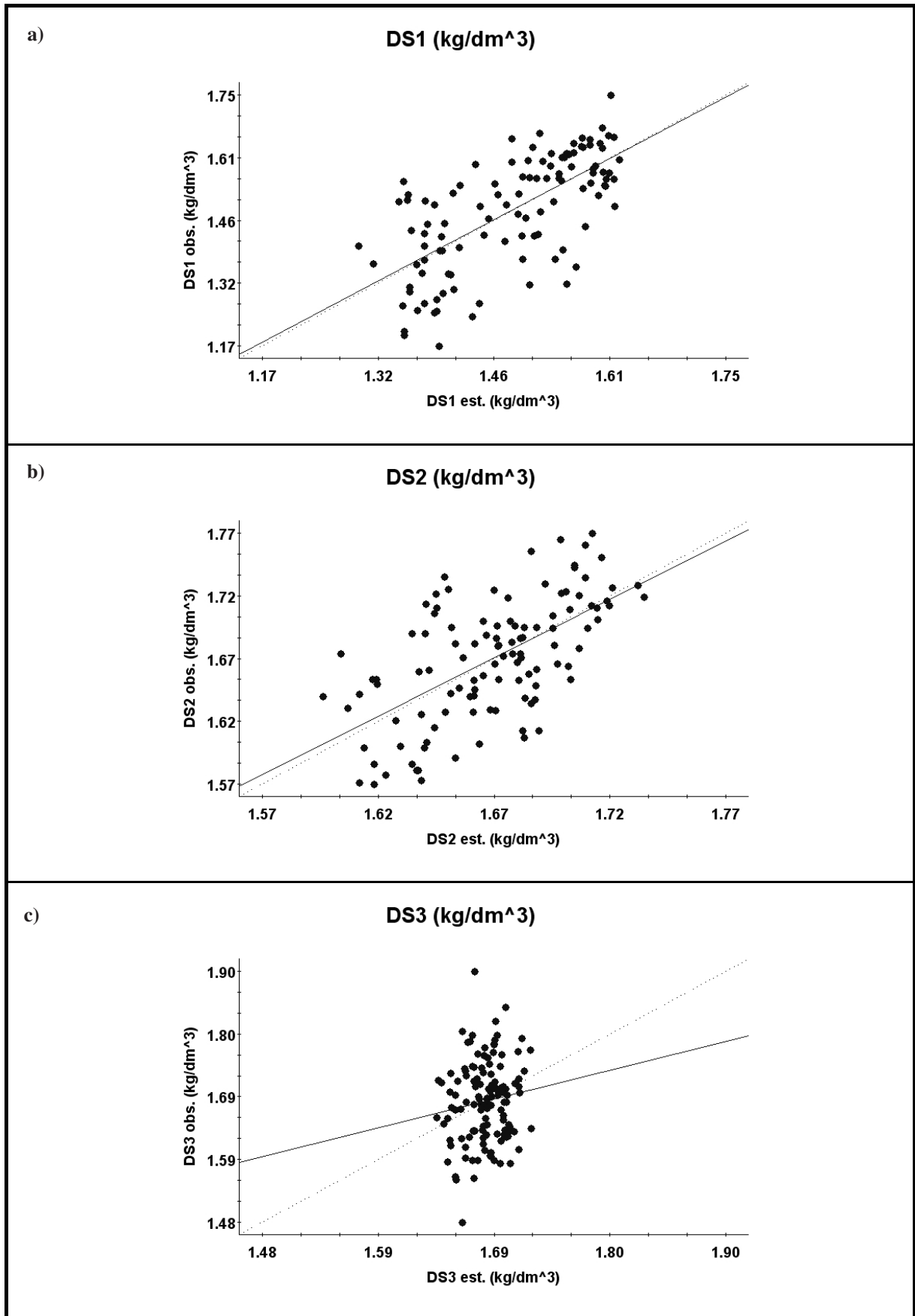


Figura 19: Validação cruzada dos atributos de relação massa/volume (DS1, DS2 e DS3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

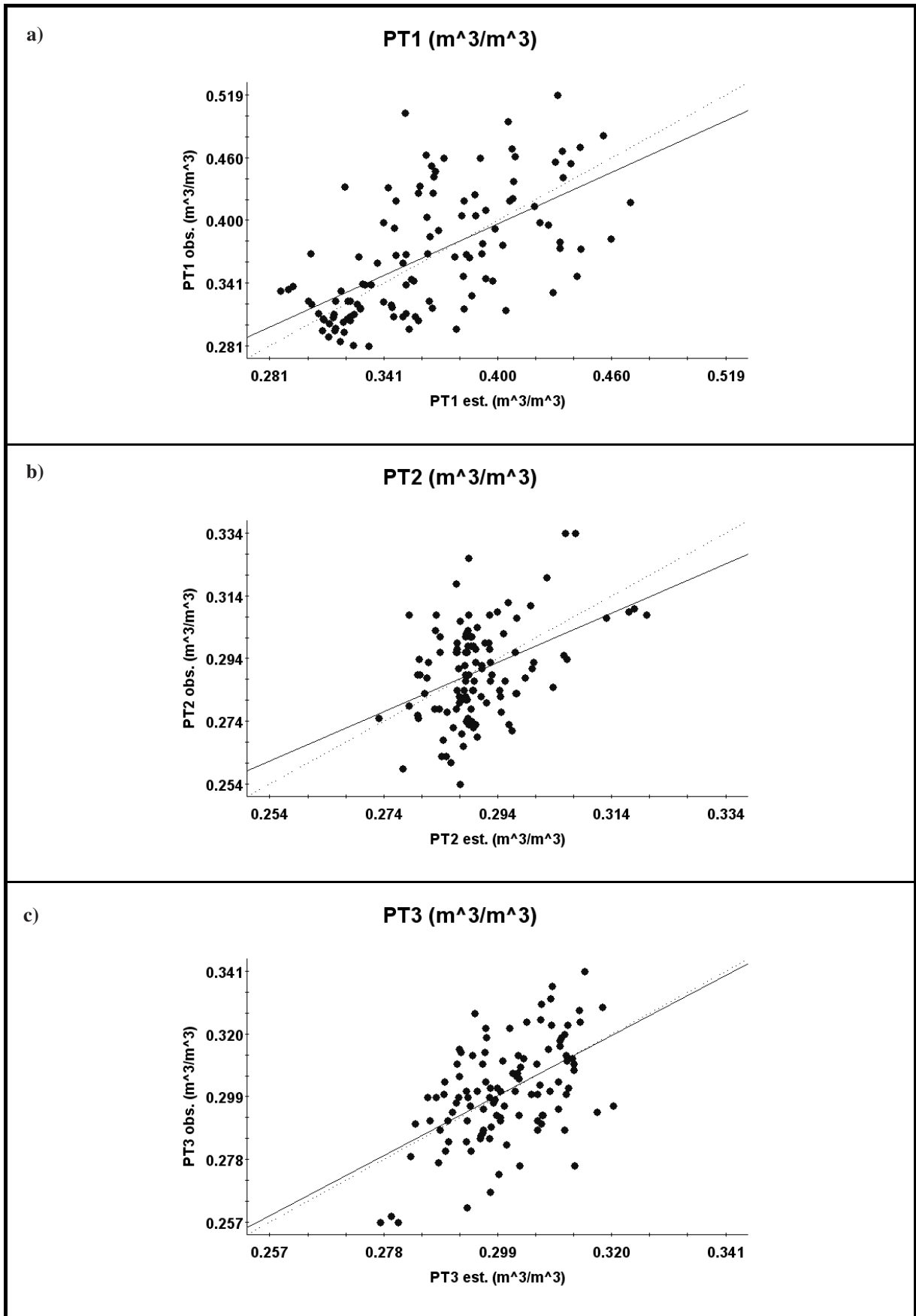


Figura 20: Validação cruzada dos atributos de relação massa/volume (PT1, PT2 e PT3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

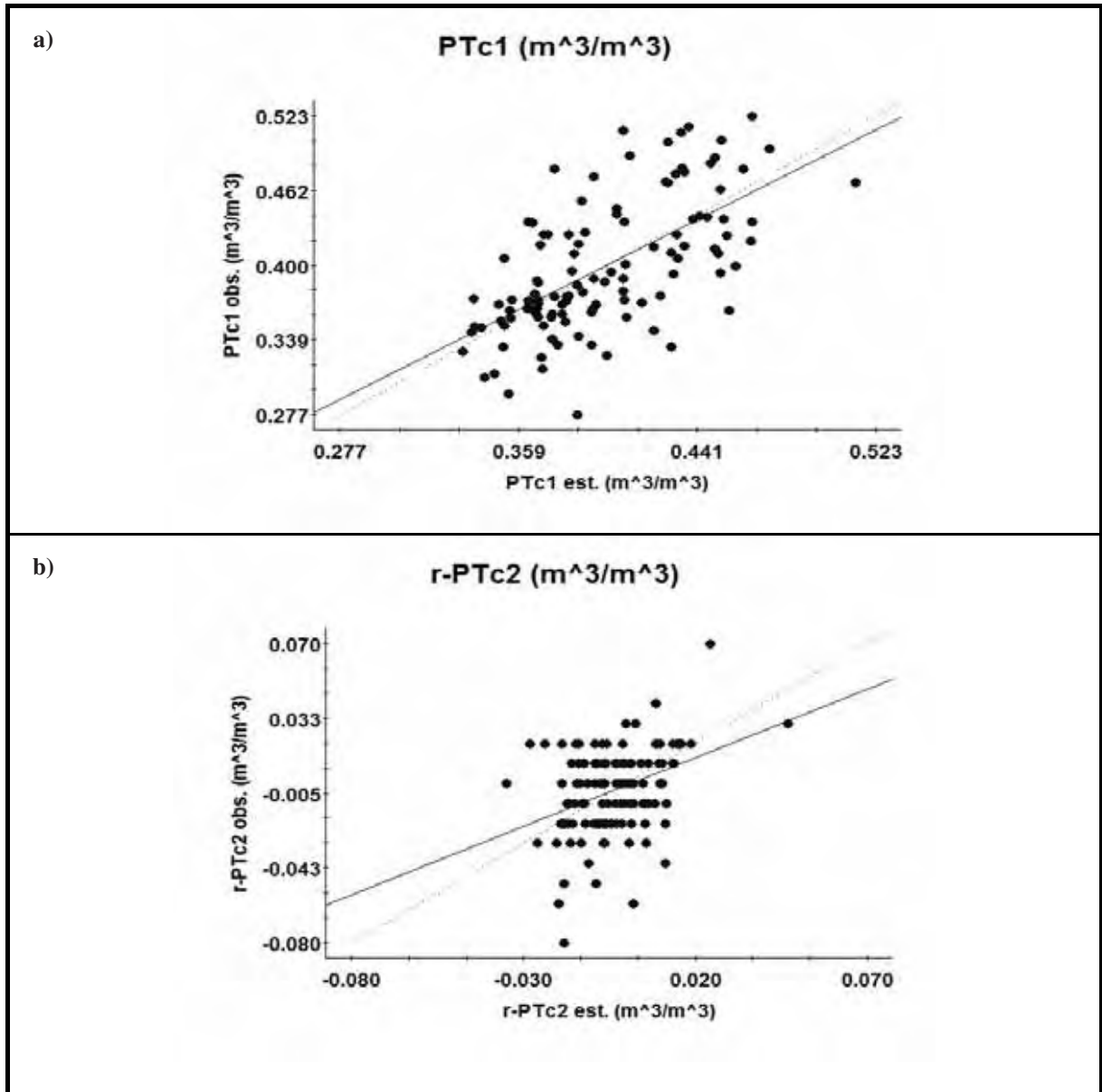


Figura 21: Validação cruzada dos atributos de relação massa/volume (PTc1 e r-PTc2) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

De acordo com o preconizado em GS+ (2004), onde, para o modelo ideal de semivariograma, um ajuste da validação cruzada (observado e estimado) com um coeficiente linear (a) tendendo a zero, assim como com o angular (b) e o coeficiente de correlação (r) tendendo a um. Já para os atributos do solo, tanto os dados granulométricos como os da relação massa/volume apresentaram excelentes desempenhos. Para os primeiros, seus coeficientes de correlação variaram entre 0,502 (r -SI3) e 0,725 (r -SI2), com coeficientes angulares entre 0,928 (AG2) e 1,030 (r -AR1), ficando este fato de forma semelhante aos dados apresentados por Kitamura (2004). Para os segundos, à exceção do DS3 e do r -PTc2, que apresentaram desempenho muito fraco, nos demais atributos os valores do r foram menores, variando entre 0,417 (PT3) a 0,674 (DS1) e com coeficientes angulares entre 0,787 (PT2) e 0,977 (DS1). Tais magnitudes ficaram muito semelhantes às de Souza et al. (2001), às de Carvalho et al. (2002; 2003) e às de Santos et al. (2006). Na prática, entre os atributos do solo, o DS1 apresentou-se como o melhor ajuste, uma vez que teve a menor diferença entre os valores observados e estimados do erro padrão.

4.3.1.3. Mapas de krigagem dos atributos estudados

Nas Figuras 22-28 estão contidos os mapas de krigagens dos atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto – SP. Assim, em virtude da análise espacial dos mapas, ficou definido que para suas leituras as direções norte-sul foram estabelecidas sob o eixo cartesiano y (de cima para baixo) e as direções leste-oeste sob o eixo cartesiano x (da direita para a esquerda).

A massa seca da forragem do milho constituiu-se no parâmetro da planta de maior importância prática. Assim, apresentou seus mínimos valores (11653-14552 kg/ha) nas regiões noroeste, sudoeste e sudeste, enquanto que os máximos (14552-17450 kg/ha) nas regiões norte, nordeste e centro-sul (Fig. 22a). Dessa forma, foi notada alguma semelhança espacial entre os valores da MSF com os valores dos atributos do solo l -SI2, AR2, DS1 e PTc1. Em relação ao primeiro (Fig. 24a), a referida semelhança foi fraca, ao passo que em relação aos três últimos foi robusta (AR2 - Fig. 23b; DS1 - Fig. 26a e PTc1 - Fig. 28a). Portanto, a semelhança espacial entre MSF x l -SI2 foi inversa. Desta forma, contrariando a distribuição espacial do MSF, apresentou os máximos valores (76-98 kg/ha) nas regiões noroeste, sudoeste e sudeste, enquanto que os mínimos valores (76-59 kg/ha) nas regiões norte, nordeste e centro-sul. Já com relação à semelhança espacial entre MSF x AR2, ela também se apresentou de forma inversa, com os máximos valores (787-818 kg/ha) nas regiões noroeste, sudoeste e sudeste, enquanto que os mínimos valores (787-757 kg/ha) nas regiões norte, nordeste

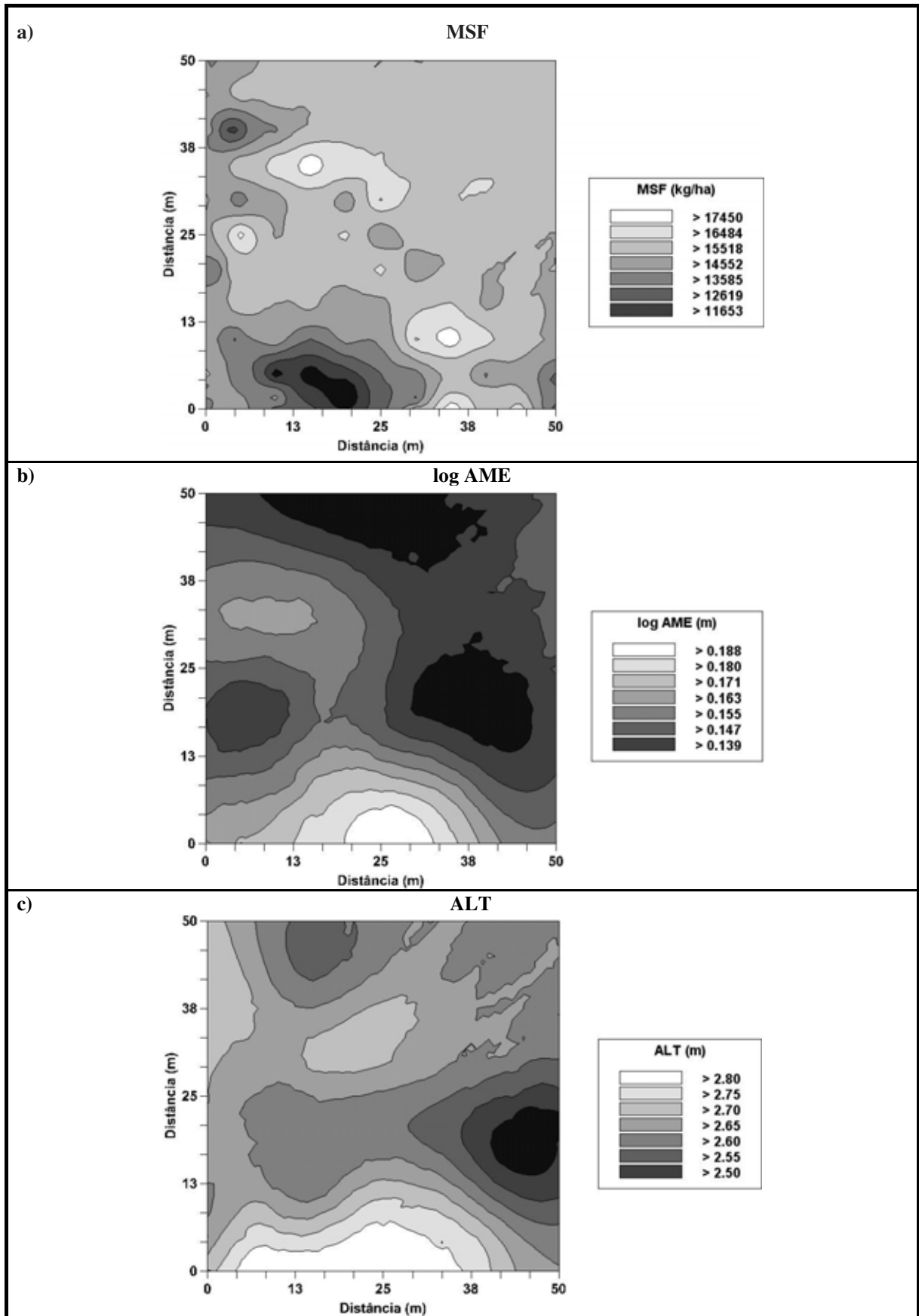


Figura 22: Mapas de krigagem dos atributos (MSF, log AME e ALT) da produtividade do milho em um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

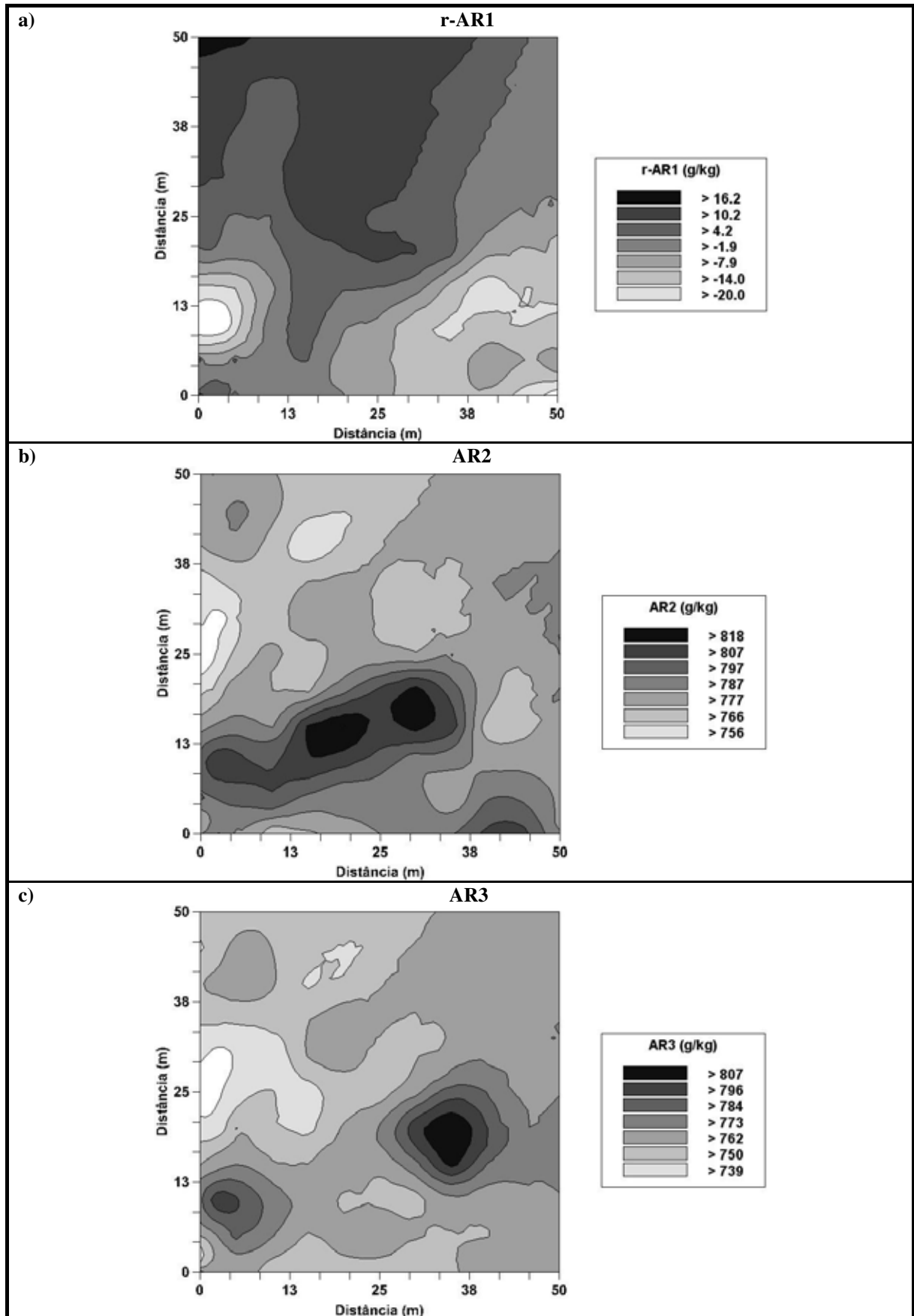


Figura 23: Mapas de krigagem dos atributos granulométricos (*r*-AR1, AR2 e AR3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

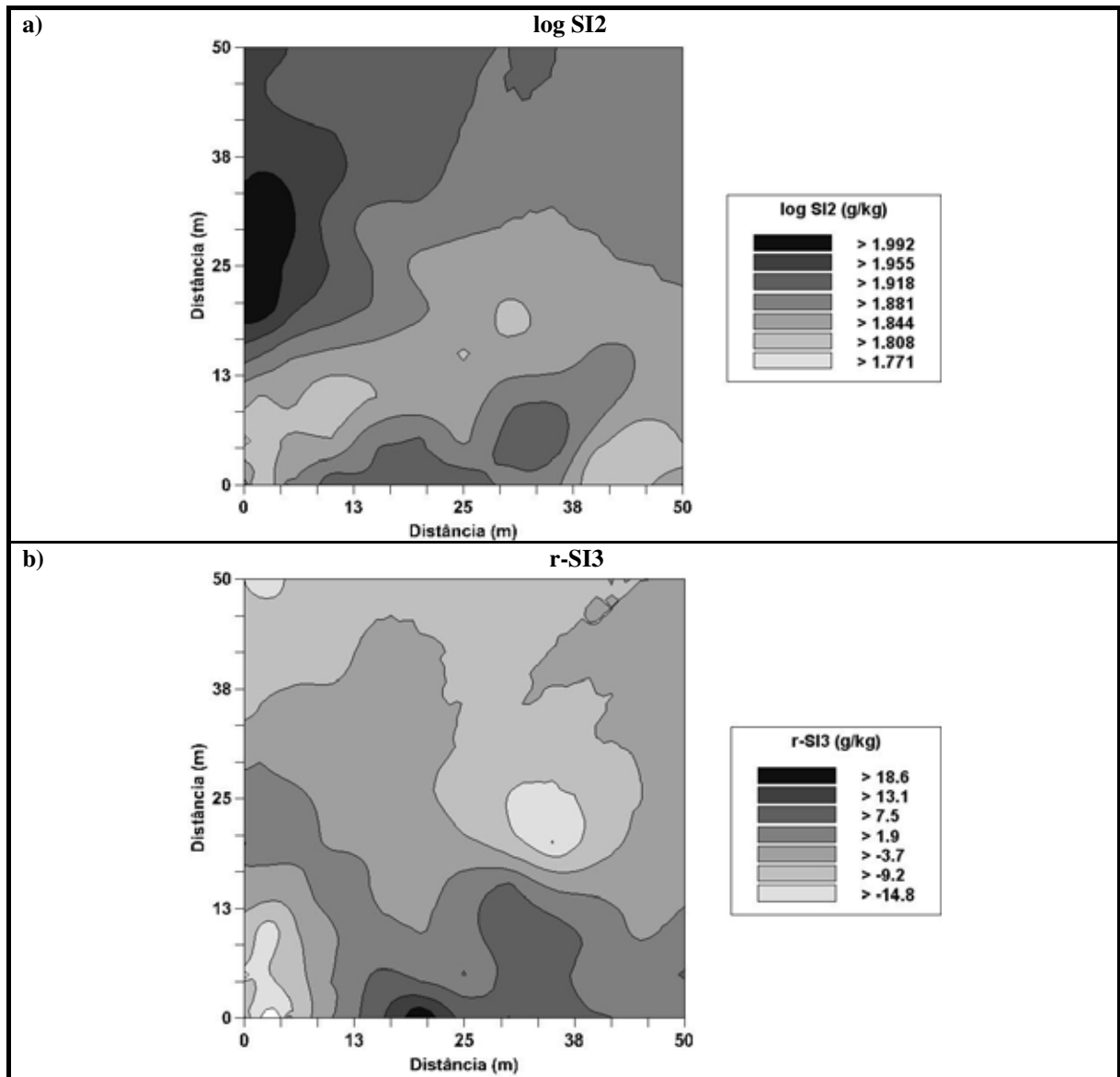


Figura 24: Mapas de krigagem dos atributos granulométricos (log SI2 e r -SI3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

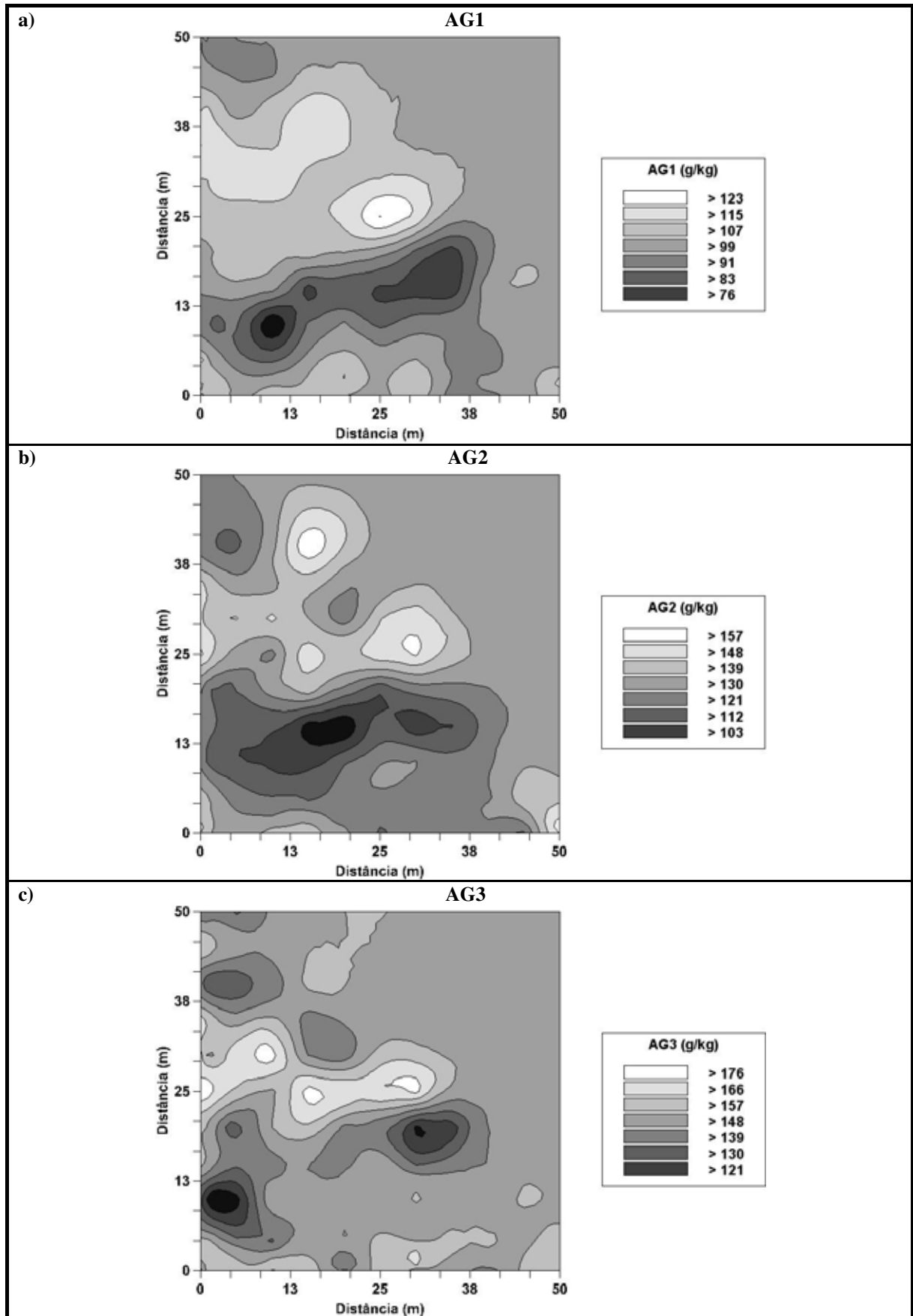


Figura 25: Mapas de krigagem dos atributos granulométricos (AG1, AG2 e AG3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

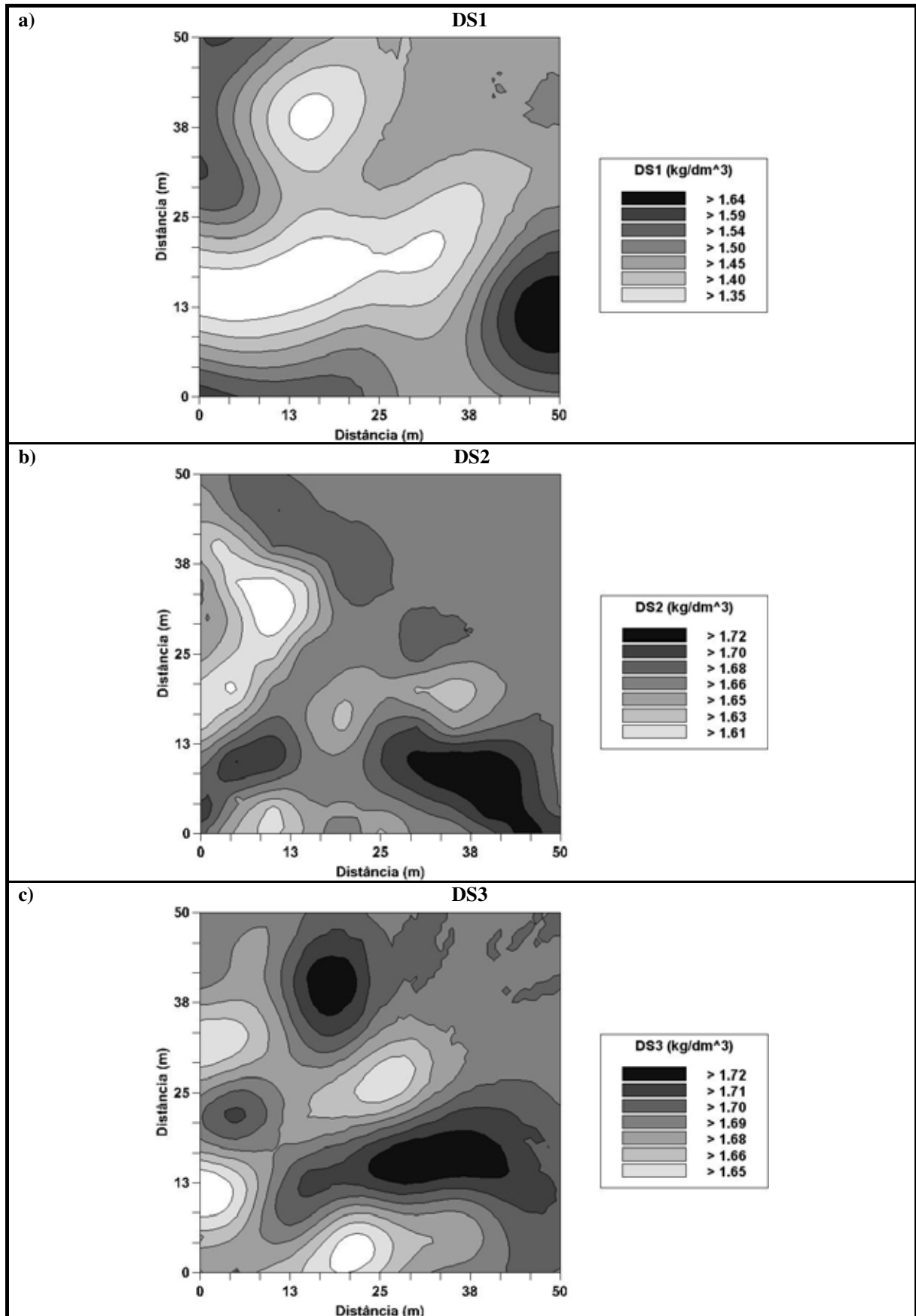


Figura 26: Mapas de krigagem dos atributos de relação massa/volume (DS1, DS2 e DS3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

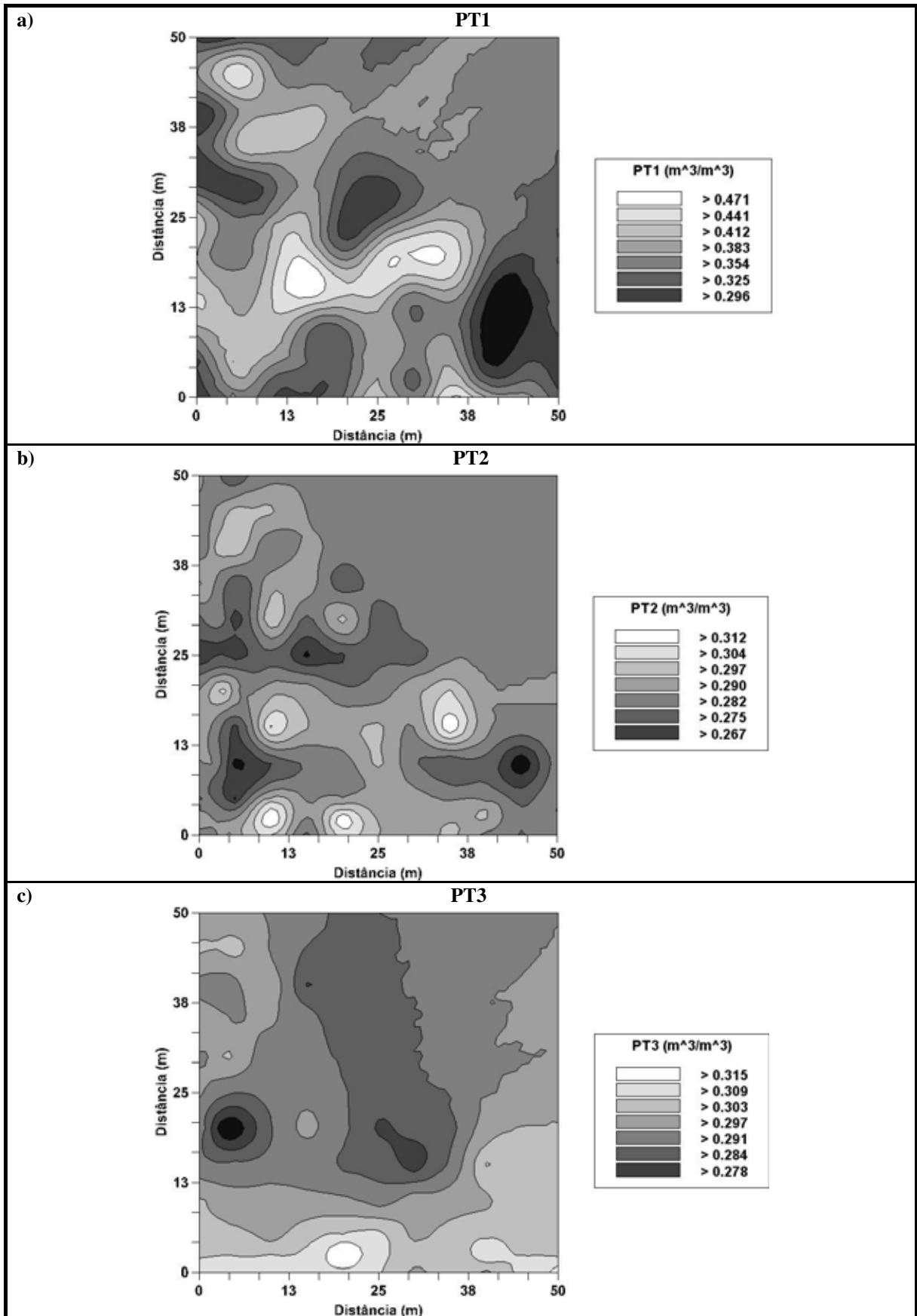


Figura 27: Mapas de krigagem dos atributos de relação massa/volume (PT1, PT2 e PT3) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

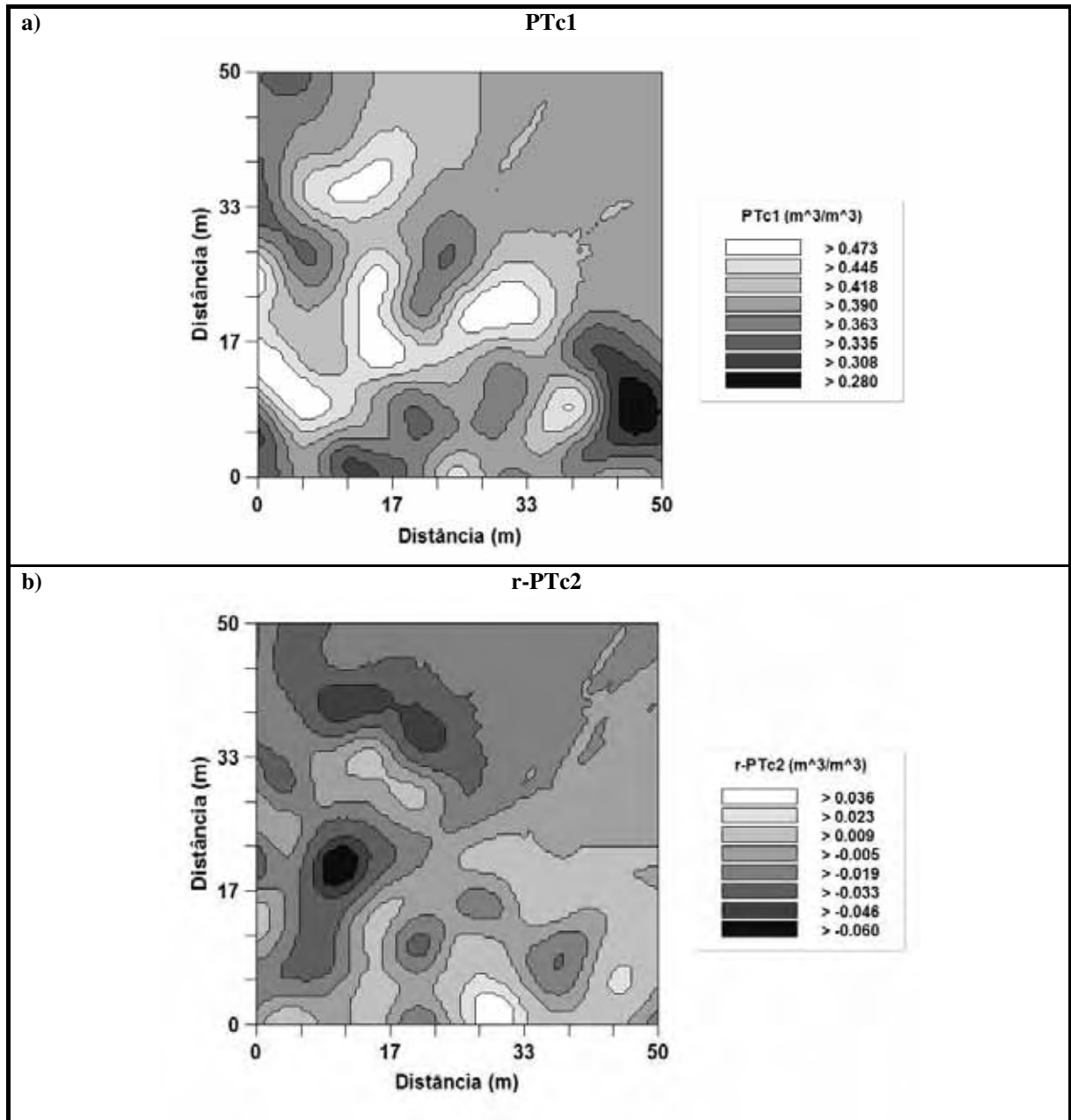


Figura 28: Mapas de krigagem dos atributos de relação massa/volume (PTc1 e r-PTc2) de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

e centro-sul. Com relação à semelhança espacial entre $MSF \times DS1$, ela também se apresentou de forma inversa, com os máximos valores ($1,45-1,64 \text{ kg/dm}^3$) nas regiões noroeste, sudoeste e sudeste, enquanto que os mínimos valores ($1,35-1,45 \text{ kg/dm}^3$) nas regiões norte, nordeste e centro-sul. Finalmente, com relação à semelhança espacial entre $MSF \times PTc1$, ela se apresentou de forma direta, com os mínimos valores ($0,280-0,390 \text{ m}^3/\text{m}^3$) nas regiões noroeste, sudoeste e sudeste, enquanto que os máximos valores ($0,390-0,473 \text{ m}^3/\text{m}^3$) nas regiões norte, nordeste e centro-sul.

4.3.2. Análise semivariográfica cruzada

4.3.2.1. Ajuste dos semivariogramas cruzados entre os atributos estudados

No Quadro 7 estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados entre alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto – SP. No geral, entre todos os semivariogramas cruzados, o melhor deles foi estabelecido para o atributo $PTc1=f(DS1)$, uma vez que seu coeficiente de determinação espacial foi o maior (0,918), como também com elevada grau de dependência espacial de 99,9%.

Do ponto de vista prático agrônômico, o maior interesse do Quadro 7 reside nos atributos estabelecidos entre a MSF e os do solo. No tocante a isso, a classificação dos atributos, estabelecida em ordem decrescente de grandeza, indicou que o melhor deles foi, neste caso, para o atributo $MSF=f(DS2)$, seguido respectivamente pelos atributos: $MSF=f(PT2)$, $MSF=f(DS3)$, $MSF=f(DS1)$, $MSF=f(PT3)$ e o $MSF=f(AG3)$, cujos coeficientes de determinação espacial foram de 80,4; 77,9; 72,5; 65,0 e 50,6 %.

Com relação ao semivariograma cruzado entre atributos da planta (Quadro 7), o $MSF=f(ALT)$ apresentou o coeficiente de determinação espacial de 70,0 %. Sendo assim, a massa seca da forragem do milho pode ser estimada espacialmente pela altura da planta, de modo a se efetuar prognósticos futuros da referida produtividade (MSF) em função de um atributo de fácil obtenção (ALT). Já com relação aos semivariogramas cruzados entre atributos do solo, deve-se destacar a elevada afinidade espacial entre o $PTc1$ e o $PT1$. Assim, considerando-se haver diferenças no emprego das distintas metodologias de determinação da porosidade total, $PT1$, pelo método do anel volumétrico, e o $PTc1$, pela Eq. (1), para a qual são empregados os métodos do álcool (densidade da partícula) e do anel volumétrico (densidade do solo), o emprego da metodologia para a determinação da referida porosidade deverá ficar a cargo de cada pesquisador, uma vez que praticamente não houve diferença entre os atributos $PT1=f(PTc1)$ e $PTc1=f(PT1)$, cujos coeficientes de determinação espacial foram de 0,806. Portanto, pode-se estimar o $PT1$ em função do $PTc1$, e vice-versa, com uma probabilidade

Quadro 7: Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados entre alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.

Parâmetros									
Atributo (a)	Modelo (b)	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ +C)	Variância Estrutural (C)	Alcance (m) (A ₀)	r ²	SQR (c)	ADE (d)	Classe de dependência espacial
MSF=f(ALT)	gau	-1,000.10 ⁻¹	-6,307.10 ¹	-6,297.10 ¹	23,4	0,700	4,593.10 ³	99,8	alta
<i>γ(h) cruzado entre atributos da planta</i>									
MSF=f(AG3)	esf	1,000.10 ¹	6,489.10 ³	6,479.10 ³	29,6	0,506	4,830.10 ⁷	99,8	alta
MSF=f(DS1)	gau	-1,000.10 ⁻¹	-7,621.10 ¹	-7,611.10 ¹	19,8	0,725	2,153.10 ³	99,9	alta
MSF=f(DS2)	gau	1,000.10 ⁻²	1,240.10 ¹	1,239.10 ¹	18,6	0,907	5,730.10 ¹	99,9	alta
MSF=f(DS3)	gau	1,000.10 ⁻²	1,293.10 ¹	1,292.10 ¹	17,3	0,779	1,870.10 ²	99,9	alta
MSF=f(PT2)	esf	-1,000.10 ⁻²	-1,233.10 ¹	-1,232.10 ¹	25,0	0,804	4,660.10 ¹	99,9	alta
MSF=f(PT3)	gau	-1,000.10 ⁻²	-8,840	-8,830	21,3	0,650	1,710.10 ²	99,9	alta
<i>γ(h) cruzado entre atributos do solo</i>									
PT1=f(DS1)	esf	-5,000.10 ⁻⁴	-7,450.10 ⁻³	-6,950.10 ⁻³	15,2	0,915	1,871.10 ⁻⁶	93,3	alta
PTe1=f(DS1)	exp	-1,000.10 ⁻⁵	-7,790.10 ⁻⁴	-7,780.10 ⁻³	19,6	0,918	2,045.10 ⁻⁶	99,9	alta
PT1=f(PTe1)	exp	1,000.10 ⁻⁶	2,962.10 ⁻³	2,961.10 ⁻³	14,6	0,806	1,333.10 ⁻⁶	99,9	alta
PTe1=f(PT1)	exp	1,000.10 ⁻⁶	2,962.10 ⁻³	2,961.10 ⁻³	14,6	0,806	1,333.10 ⁻⁶	99,9	alta

^(a)MSF = produtividade de matéria seca da forragem; ALT = altura da planta; AG refere-se à fração argila do solo; DS, PT e PTe, são respectivamente a densidade do solo, a porosidade total determinada (método direto) e a porosidade total calculada (método indireto); ^(b) gau = gaussiano, esf.= esférico, exp.= exponencial; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial.

de acerto de 80,6 %.

4.3.2.2. Validação cruzada dos semivariogramas cruzados entre os atributos estudados

O Quadro 8 apresenta os parâmetros das validações cruzadas referentes às cokrigagens entre alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto –SP. Os coeficientes de correlação (r), que foram ajustados entre os valores observados e estimados dos atributos cokrigados, variaram entre 0,444 $MSF=f(AG3)$ e 0,635 $PT1=f(PTc1)$. Já os coeficientes angulares (b) variaram entre 0,594 [$MSF=f(ALT)$] e 0,855 [$PTc1=f(PT1)$]. Tais valores, no geral, ficaram numa situação intermediária de eficiência de tais ajustes, uma vez que, na situação hipotética ideal, tanto o r como o b devem tender a um, conforme GS+(2004).

4.3.2.3. Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem entre os atributos estudados.

As Figuras 29-39 apresentam os semivariogramas cruzados, validações cruzadas e mapas de cokrigagens entre os atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto –SP. Assim, o princípio da convergência das evidências mostrou que: a) o atributo DS1 apresentou correlação inversa e significativa com o MSF (Quadro 3); b) o DS1 e o MSF apresentaram ótimos ajustes semivariográficos simples (Quadros 5 e 6; Figuras 26a e 22a), e c) entre os atributos cokrigados, presentes nas Figuras 29-39, todos apresentaram *lags* em dois quadrantes (primeiro e quarto), com exceção do $MSF=f(DS1)$, que somente os apresentou no quarto quadrante (Fig. 31). Portanto, baseado no fato de que a presença de *lags* em dois quadrantes do semivariograma cruzado gera uma relativa indefinição na forma como a variável secundária atua, se positiva ou negativamente, é que se despontou o atributo DS1 como um apreciável indicador da qualidade física do solo estudado, quando destinado à produção de massa seca da forragem de milho outonal para as condições do município de Pereira Barreto (SP).

Quadro 8: Parâmetros das validações cruzadas referentes às cokrigagens entre alguns atributos da produtividade do milho e de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto-SP.

Atributo ^(a)	Erro padrão		Coeficiente de correlação (r)	VO = a + b . VE ^(b)	
	observado	estimado		a	b
<i>$\gamma(h)$ cruzado entre atributos da planta</i>					
MSF=f(ALT)	0,116	1895,255	0,449	$6,119.10^3$	$5,940^{-1}$
<i>$\gamma(h)$ cruzado entre atributos da planta e do solo</i>					
MSF=f(AG3)	0,120	1880,824	0,444	$6,057.10^3$	$5,970^{-1}$
MSF=f(DS1)	0,118	1834,489	0,466	$5,906.10^3$	$6,060^{-1}$
MSF=f(DS2)	0,109	1792,159	0,562	$4,263.10^3$	$7,200^{-1}$
MSF=f(DS3)	0,113	1866,226	0,447	$6,129.10^3$	$5,950^{-1}$
MSF=f(PT2)	0,118	1818,157	0,469	$5,830.10^3$	$6,180^{-1}$
MSF=f(PT3)	0,117	1748,166	0,519	$4,661.10^3$	$6,930^{-1}$
<i>$\gamma(h)$ cruzado entre atributos do solo</i>					
PT1=f(DS1)	0,086	0,046	0,575	$1,400.10^{-1}$	$6,110^{-1}$
PTc1=f(DS1)	0,100	0,043	0,589	$1,000.10^{-1}$	$7,420^{-1}$
PT1=f(PTc1)	0,100	0,044	0,635	$6,000.10^{-2}$	$8,440^{-1}$
PTc1=f(PT1)	0,104	0,042	0,626	$6,000.10^{-2}$	$8,550^{-1}$

^(a)MSF = produtividade de matéria seca da forragem; ALT = altura da planta; AG refere-se à fração argila do solo; DS, PT e PTc, são respectivamente a densidade do solo, a porosidade total determinada (método direto) e a porosidade total calculada (método indireto); ^(b) VO = valor observado e VE = valor estimado.

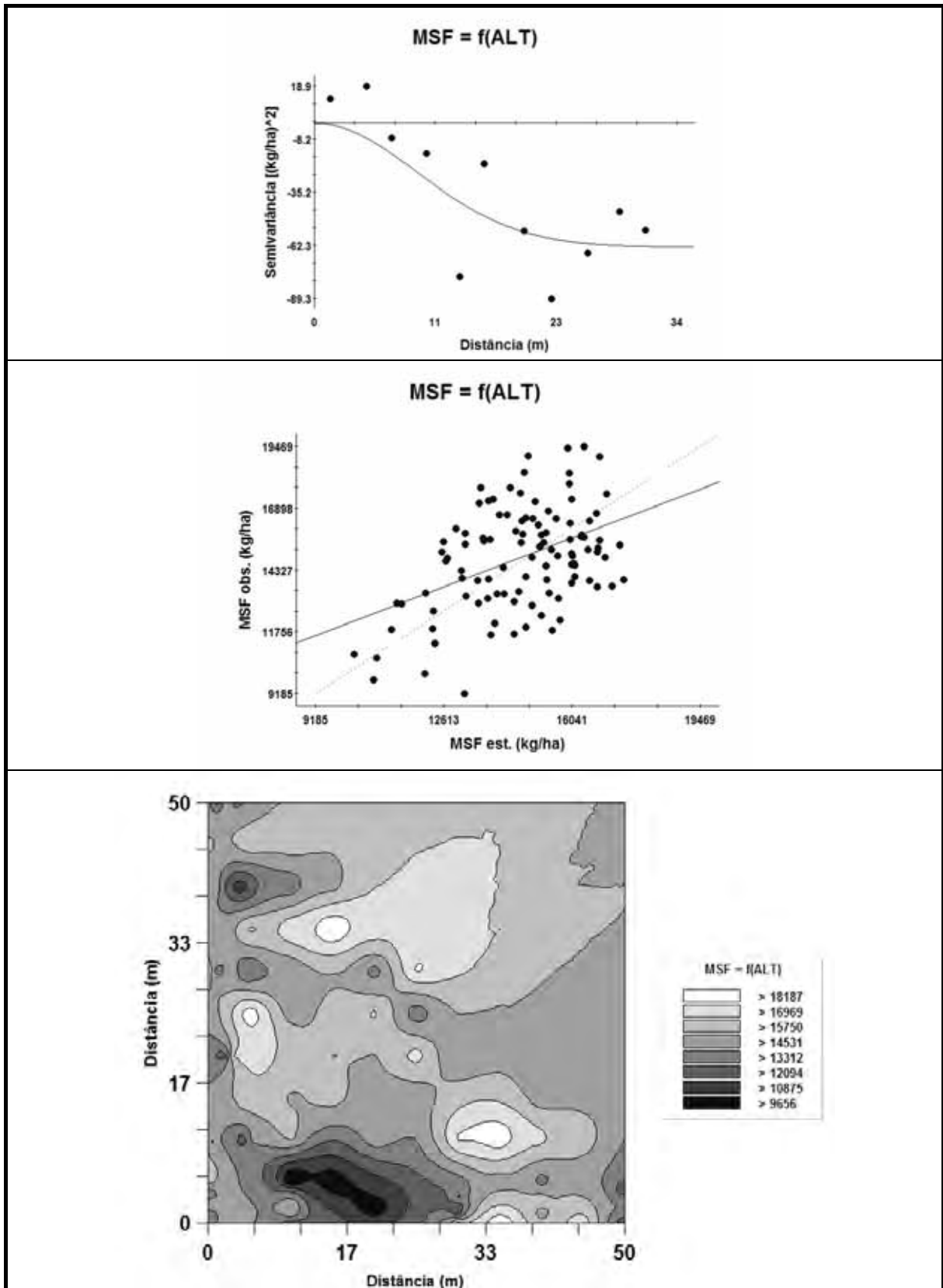


Figura 29: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da produtividade de matéria seca da forragem do milho (MSF) em função da altura (ALT) em um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

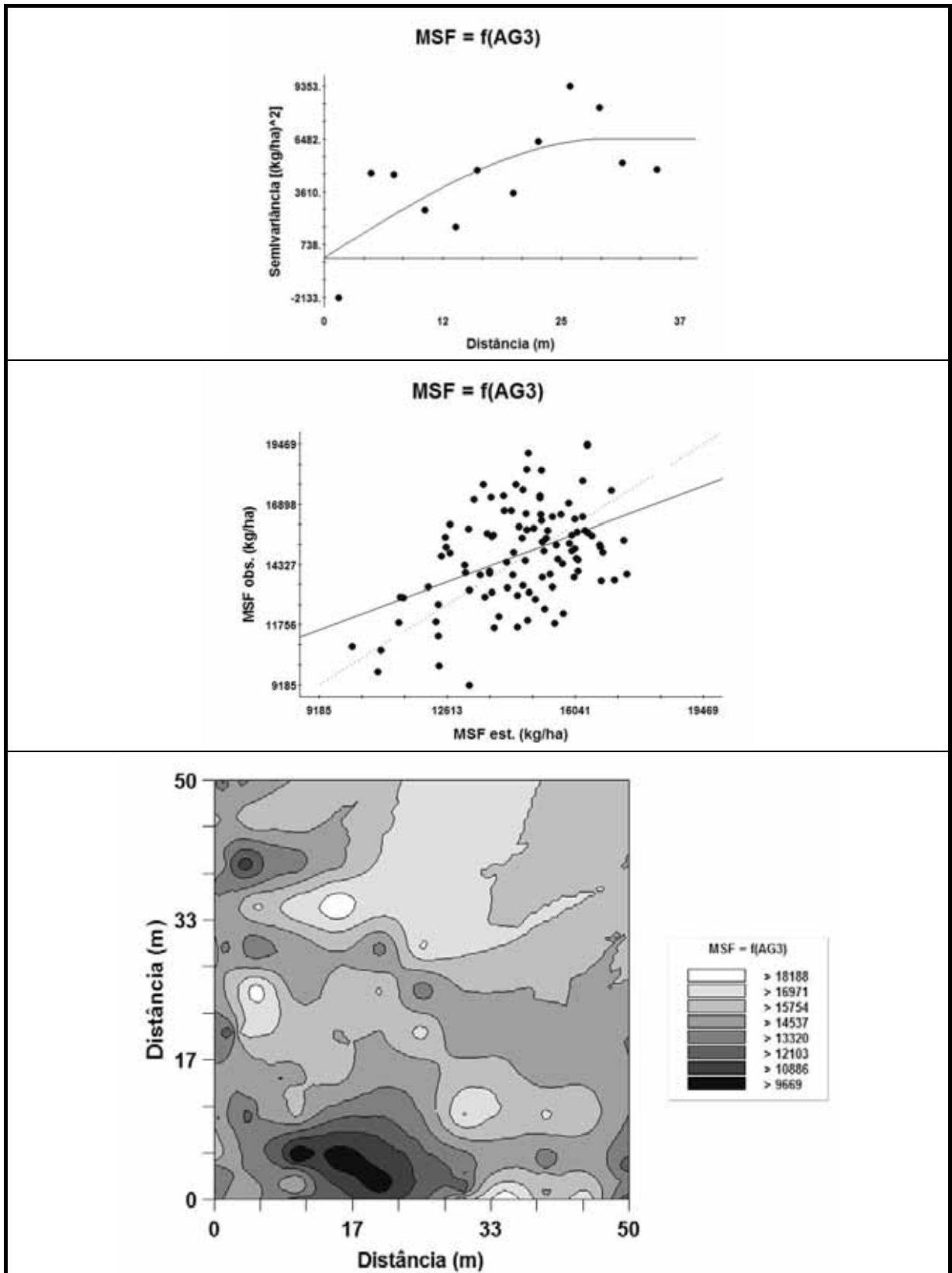


Figura 30: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da produtividade de matéria seca da forragem do milho (MSF) em função do atributo granulométrico AG3 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

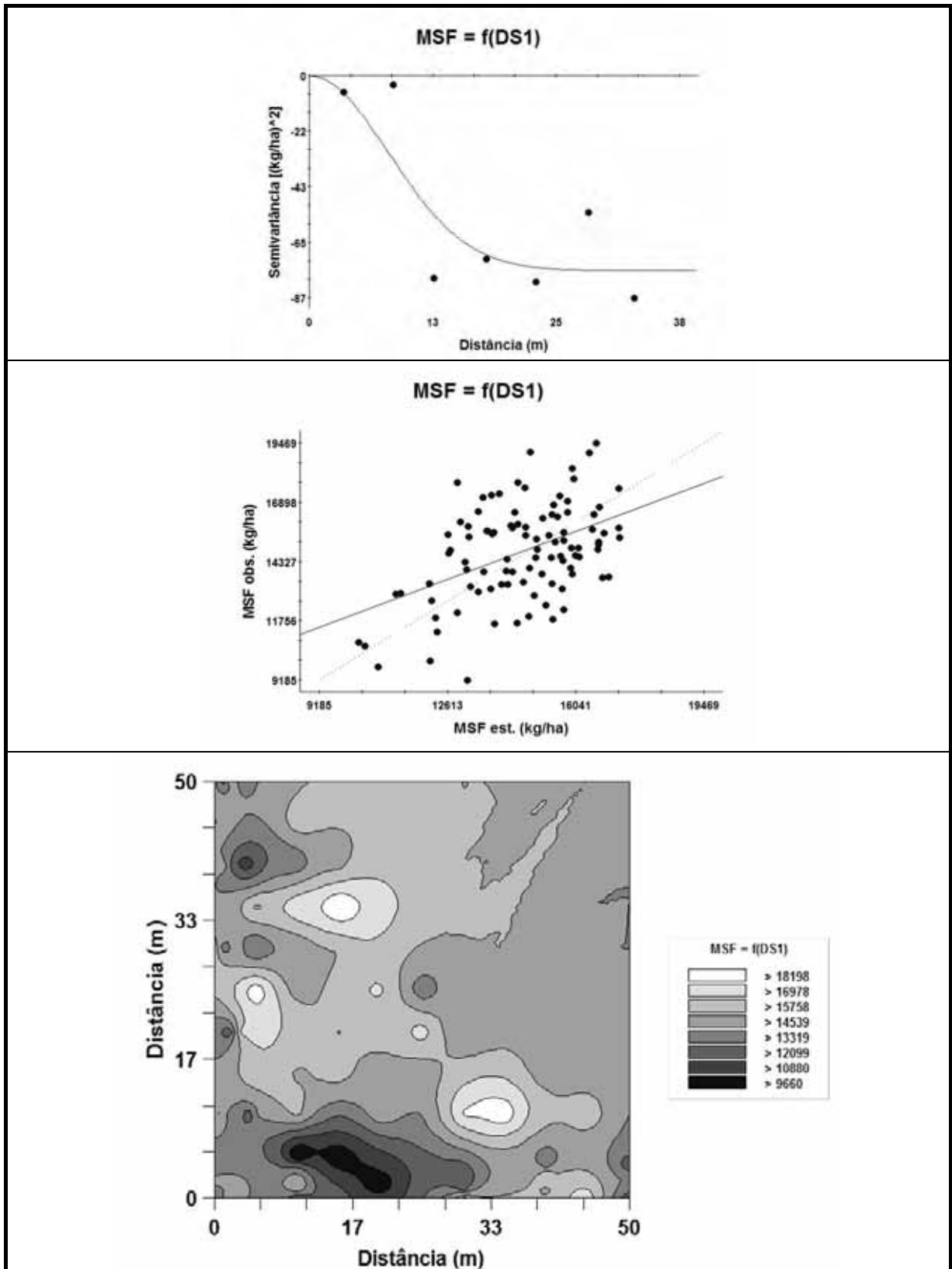


Figura 31: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da produtividade de matéria seca da forragem do milho (MSF) em função do atributo de relação massa/volume DS1 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

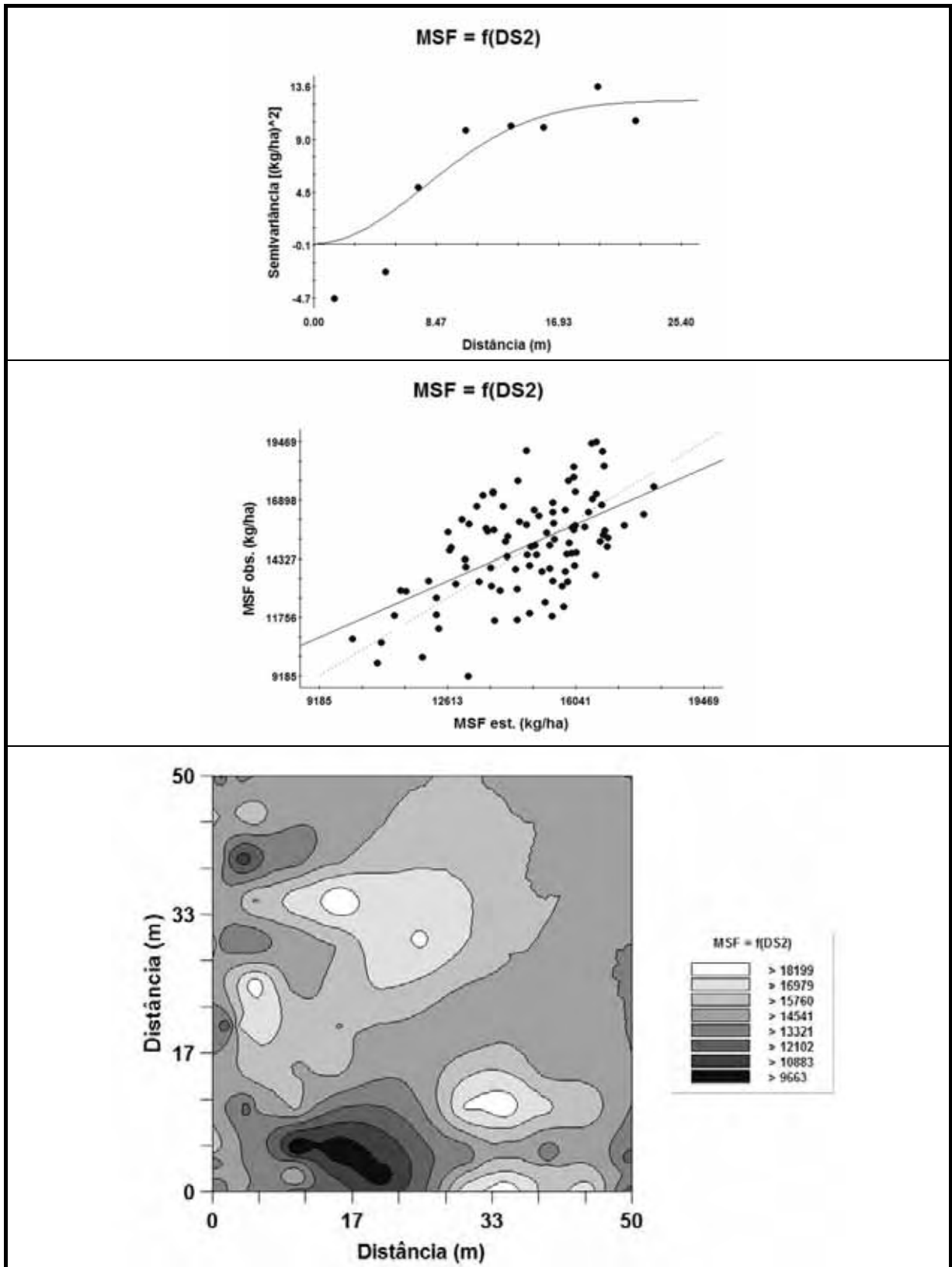


Figura 32: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da produtividade de matéria seca da forragem do milho (MSF) em função do atributo de relação massa/volume DS2 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

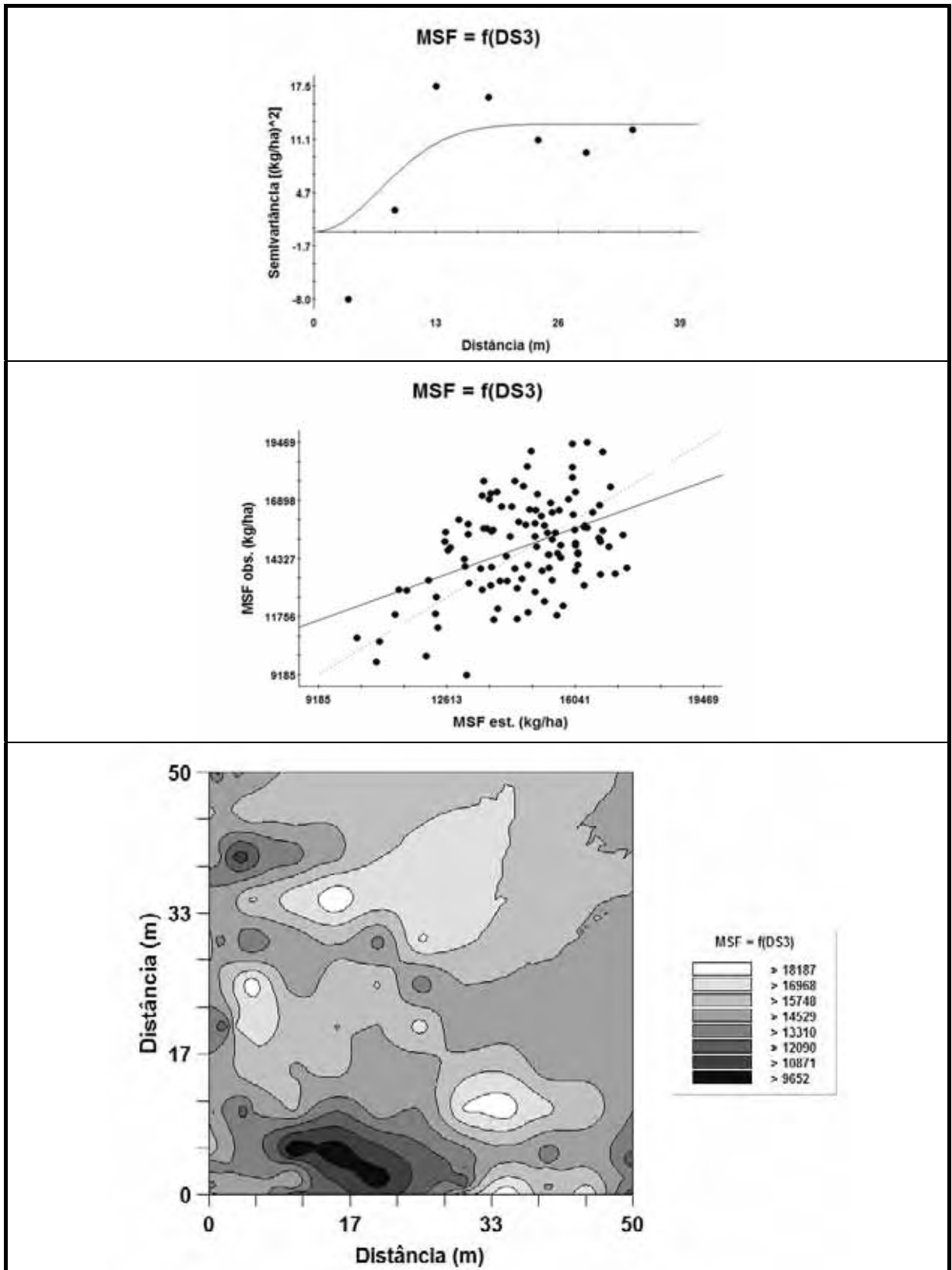


Figura 33: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da produtividade de matéria seca da forragem do milho (MSF) em função do atributo de relação massa/volume DS3 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

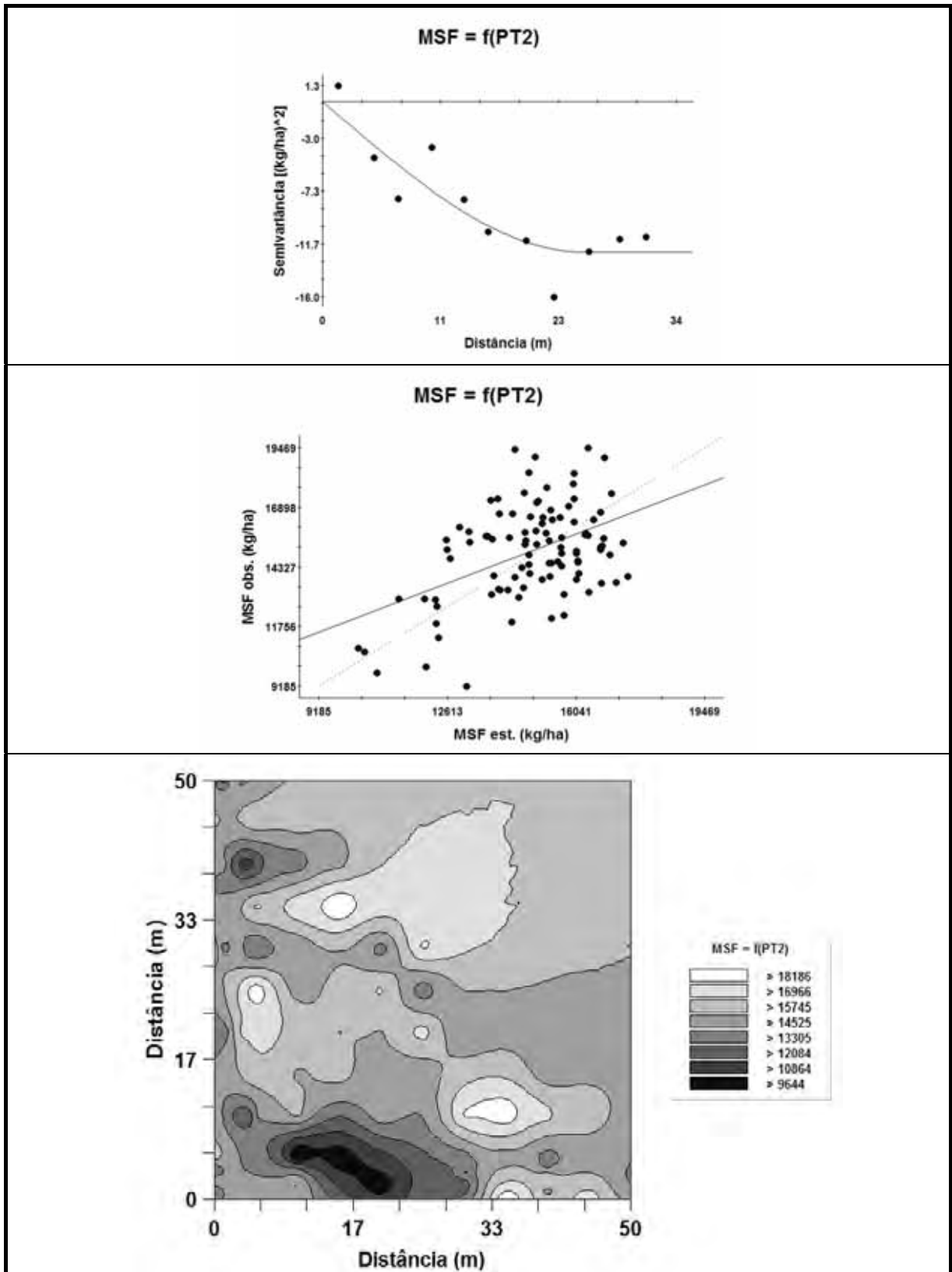


Figura 34: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da produtividade de matéria seca da forragem do milho (MSF) em função do atributo de relação massa/volume PT2 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

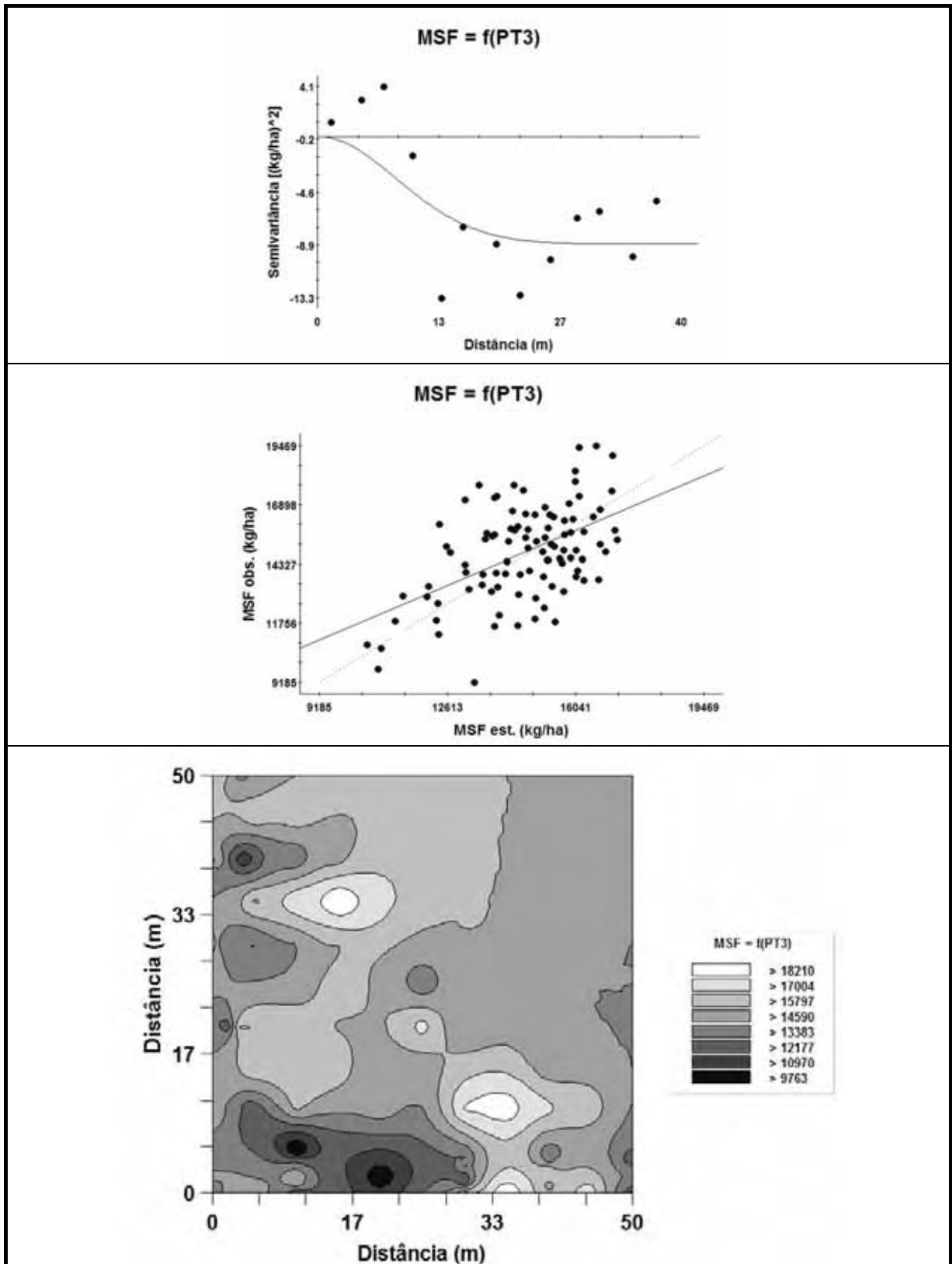


Figura 35: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da produtividade de matéria seca da forragem do milho (MSF) em função do atributo de relação massa/volume PT3 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

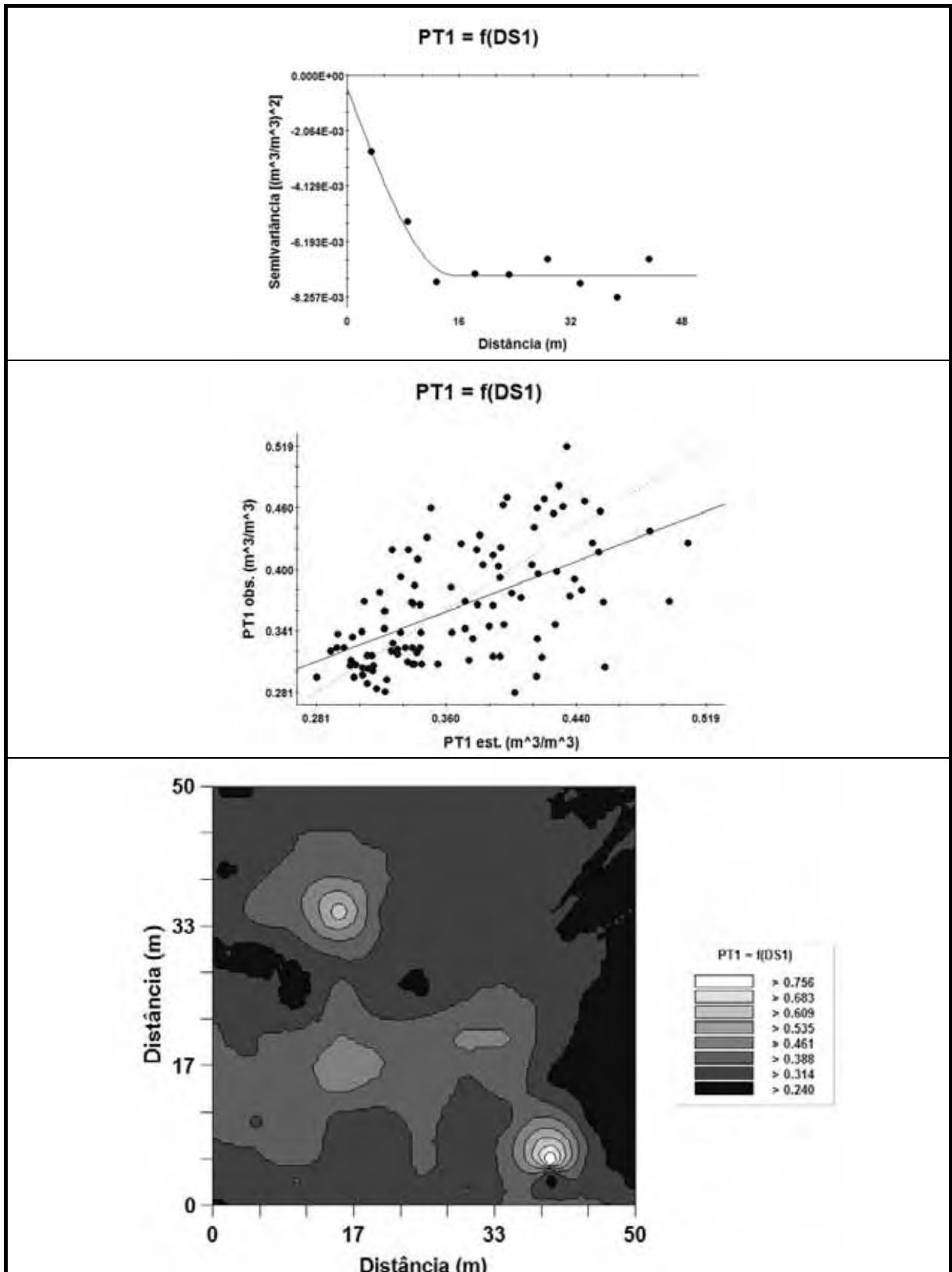


Figura 36: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da porosidade total determinada (PT1), em função do atributo DS1 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

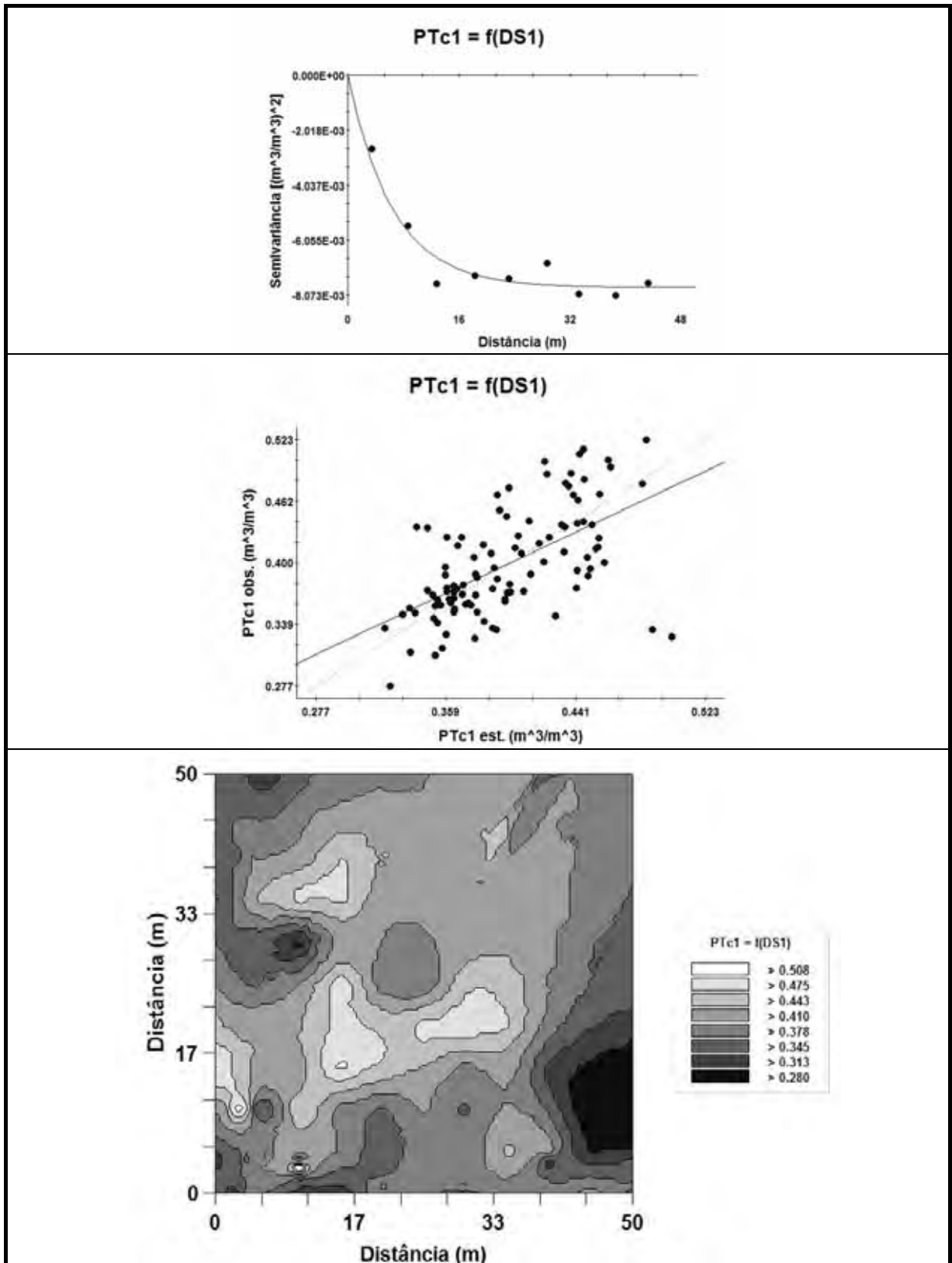


Figura 37: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da porosidade total calculada (PTc1), em função do atributo DS1 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

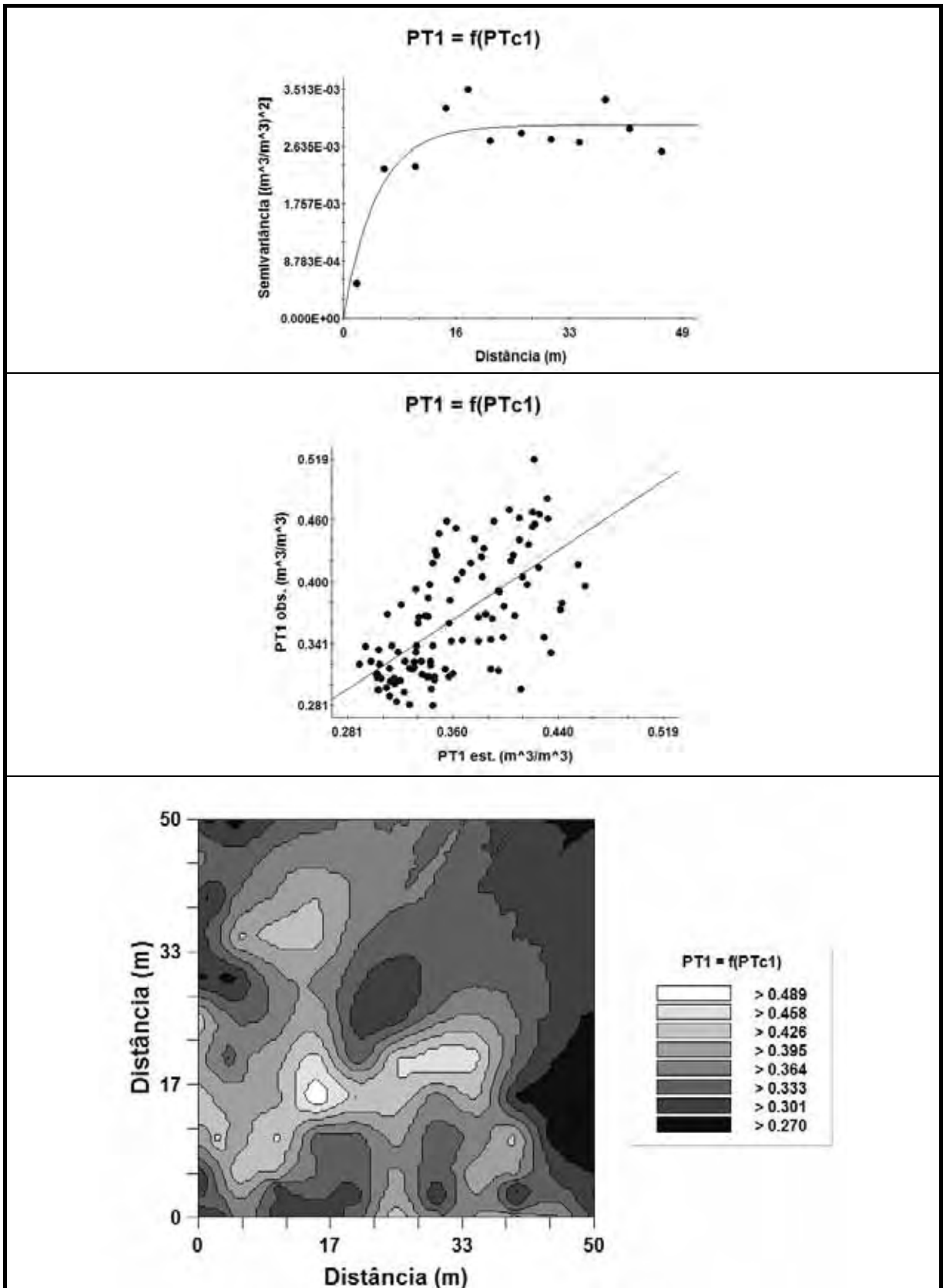


Figura 38: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da porosidade total determinada (PT1), em função do atributo PTc1 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

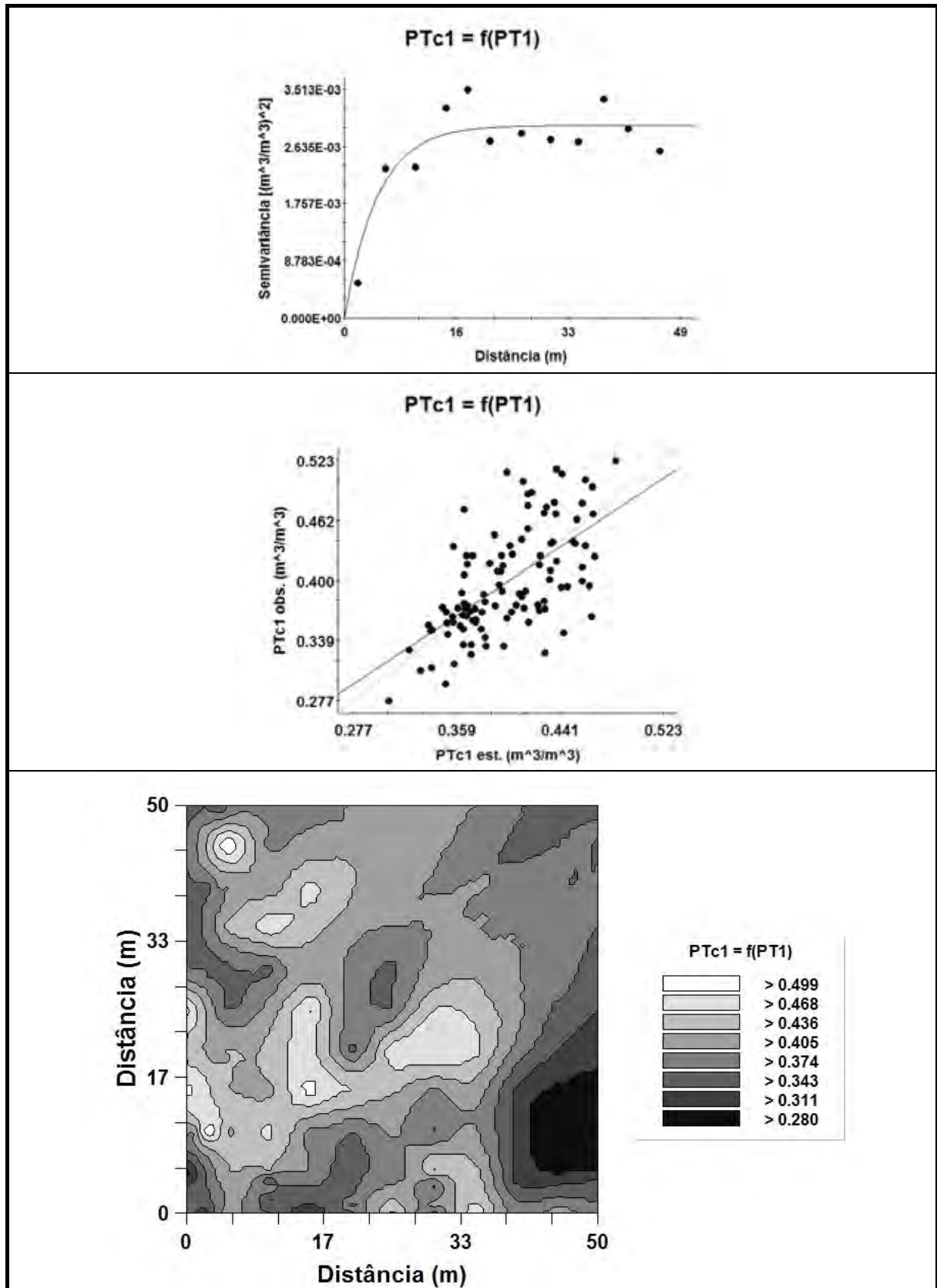


Figura 39: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da porosidade total calculada (PTc1), em função do atributo PT1 de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

5. CONCLUSÕES

Face ao exposto, a presente pesquisa, realizada num Latossolo Vermelho Distrófico da Fazenda Bonança (Agropecuária Dahma), pertencente ao município de Pereira Barreto (SP), com os materiais e métodos empregados, e em decorrência dos resultados obtidos, analisados e interpretados, possibilitou as conclusões a seguir apresentadas:

- 1) No geral, os atributos estudados, da planta e do solo, além de não terem variado aleatoriamente, apresentaram variabilidade entre média e baixa. Assim, seguiram padrões espaciais claramente definidos, com alcances da dependência espacial entre 6,8 e 46,8 metros. Portanto, a máxima distância que poderá assegurar extrema semelhança em magnitude, para um atributo qualquer, investigado para aquele local e solo, e que poderá alimentar os pacotes computacionais voltados à agricultura de precisão, deverá ser de 46,8 metros;
- 2) Apesar da correlação linear entre a produtividade de forragem do milho outonal (MSF) com os atributos da relação massa/volume e da granulometria do solo (DP, DS, PT, PTc, AR, SI e AG) ter sido baixa, foi significativa, sobretudo em função do elevado número de observações. Contudo, não invalidou a hipótese de ocorrência de apreciáveis correlações espaciais entre os atributos. Deste modo, do ponto de vista espacial, houve excelente correlação inversa entre a referida produtividade e a densidade global estabelecida na camada superficial do solo. Portanto, nos sítios onde a DS1 apresentou seus maiores valores (1,45-1,64 kg/dm³), denotando um solo com o mais severo grau de compactação, a MSF atingiu as menores cifras (11653-14552 t/ha). Já naqueles onde diminuiu, isto é, na região mais descompactada, (1,35-1,45 kg/dm³), a MSF alcançou as maiores cifras (14552–17450 t/ha);

- 3) A densidade global, avaliada na camada superficial do solo (DS1), apresentou-se como satisfatório indicador da qualidade física do solo de Pereira Barreto (SP), quando destinado à produtividade de forragem do milho *safrinha* outonal. Por outro lado, a referida produtividade pode ser estimada, por meio de equação de regressão linear múltipla significativa, a partir das variáveis-atributos PT1 e PT2, e
- 4) A porosidade total do solo pesquisado deve ser convenientemente determinada pelo Método do Anel Volumétrico, por ser direto, de maior economia metodológica e, por conseguinte, de tempo, quando comparado ao método que emprega a fórmula: $PT=[1-(DS/DP)]$.

6. REFERÊNCIAS

- ABREU, S. L. et al. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p.275-282, 2003.
- ANDRADE, A. R. S. et al. Variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 29, n. 2, p.322-329, 2005.
- ARAUJO, A. V. **Variabilidade espacial de propriedades químicas e granulométricas do solo na definição de zonas homogêneas de manejo**. 2002. 80f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.
- BARBIERI, D. M. et al. Dependência espacial de atributos granulométricos em um Latossolo vermelho Eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar na região de Jaboticabal (SP). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. CD-ROM.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Física del suelos**. Mexico: Hispano-americana, 1973. 529 p.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: Part 1**. Madison: American Society Agronomy, 1986. p.377-382.
- BOWEN, H. D. Alleviating mechanical impedance. In: ARKIN, G. F.; TAYLOR, H. M. (Comp.). **Modifying the root environment to reduce crop stress**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1981. p.21-57.
- BUCKMAN, H. O. **Natureza e propriedades dos solos**. Compêndio Universitário sobre edafologia. 4. ed. São Paulo: Freitas Bastos, 1976. 594p.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 1997. 132p.
- CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M. Comportamento físico hídrico de um podzóllico vermelho-amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 34, n. 2, p.257-265. 1999.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p.695-703, 2003.

CARVALHO, M. P.; SORATTO, R. P.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob preparo convencional em Selvíria, estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Sci.**, Maringá, v. 24, n. 5, p.1353-1361, 2002.

CARVALHO, O. S. et al. Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p.497-503, 1998.

CARVALHO, T. M. **Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo através da geoestatística**. 1991. 84f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1991.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, R. D.; GONÇALVES, A. C. A. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas do solo em um pomar de lima ácida Tahiti, irrigado por microaspersão. **R. Bras. Eng. Agr. Amb.**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p.239-246, 2001.

CORÁ, J. E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura da cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**. Viçosa, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.

CRUZ, J. C. et al. (Ed.). **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 544p.

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **Geostatistical software library and user's guide, GSLIB**. New York: Oxford University Press, 1997. 363p.

DUFRANC, G. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade e agregados de dois Latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. **R, Bras. Ci. Solo**, Lavras, v.28, n.3, p.505-517, 2004.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no município de Lavras, MG. **R. Bras. Eng. Agr. Amb.**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p.242-246, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA MILHO E SORGO. Introdução e importância econômica do milho. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicações/milho&sorgo>>. Acesso em: 15 ago. 2006a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. (numeração capitulada).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006b. 306p.

EPSTEIN, E.; BLOON, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FAHL, J. I. et al. (Ed.). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas:** Boletim 200. 6. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1998. 396p.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.38, n.8, p.947-953, 2003.

FORSYTE, W. **Física del suelos:** manual de laboratorio. Costa Rica: Iica, 1985. 212p.

FREDDI, O. S. et al. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p.113-121, 2006.

FREITAS, P. L. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LAUDERS, J. N. (Comp.). **Fascículo sobre experiência em plantio direto no cerrado.** Uberlândia: Apdc, 1994. p.187-196.

GAVANDE, S. A. **Física de suelos:** principios y aplicaciones. Mexico: Limusa, 1972. 351p.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, Arnold (Comp.). **Methods of soil analysis:** Part 1: physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p.383-411.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 37, n.2, p.223-227, 2002.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. Correlação espacial entre retenção de água e textura do solo para fins de manejo de irrigação. **Eng. Agríc.**, Sorocaba, v. 22, n. 3, p.296-303, 2002.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; MATA, J. D. V. Análises exploratórias e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Maringá**, Maringá, v. 23, p.1149-1157, 2001.

GONÇALVES, C. et al. Variabilidade espacial de propriedades hídricas e mecânicas de um Argissolo sob sistema de plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 2000, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. (CD-ROM).

GONZÁLES, A. P.; ALVES, M. C. Armazenamento de água e densidade do solo sob três condições de superfície, em um Cambissol gleico de Lugo, Espanha. **R. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, Campina Grande, v.9, n.1, p.45-50, 2005.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p.169-177, 2005.

GROHMANN, F. Estrutura. In: MONIZ, A. C. (Org.). **Elementos de pedologia.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. p.101-110.

GS+: Geostatistics for environmental sciences. 7. ed. Michigan, Plainwell: Gamma Desing Software, 2004. 159p.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: Ufu - Núcleo de Estudos Estatísticos e Biomédicos, 2004. 77p.

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

HAKANSSON, I.; STENBERG, M.; RYDBERG, T. Long term experiments with different depths of moldboard plough in Sweden. **Soil and Tillage Research**, Amterdan, v.46, n.3-4, p.209-230, 1998.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York: Academic Press, 1982. 364p.

JOHANN, J. A. et al. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. **R. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p.212-219, 2004.

JORGE, J. A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 328p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1979. 264p.

KITAMURA, A. E. **Inter-relações da variabilidade espacial da granulometria do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto**. 2004. 109f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista - Unesp, Ilha Solteira, 2004.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic evaluation problems on the Witwatersrand. **Chemistry Metallurgy Mining Society South African**, Witwatersrand, v. 52, n. 6, p.119-139, 1951.

LIBARDI, P. L. et al. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 10, n. 2, p.85-90, 1986.

LIMA, R. C. **Modos e épocas de adubação da cultura do milho em plantio direto e cultivo mínimo**. 2005. 49f. Monografia - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Ilha Solteira, 2005.

MACEDO, J. R.; OTONNI FILHO, T. B.; MENEGUELLI, N. A. Variabilidade de características físicas, químicas e físico-hídricas em solo Podzólico Vermelho-Amarelo de Seropédica, RJ. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 33, n. 12, p.2043-2053, 1998.

MACHADO, P. L. O. A. et al. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.41, n.6, p.1023-1031, 2006.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Lancaster, v. 58, p.1246-1266, 1963.

- MEDINA, H. P. Classificação textural. In: MONIZ, Antônio C. (Org.). **Elementos de pedologia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975a. p.21-28.
- MEDINA, H. P. Constituição física. In: MONIZ, Antônio C. (Org.). **Elementos de pedologia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975b. p.11-20.
- MELLO, G. **Variabilidade espacial de atributos do solo em áreas intensamente cultivadas nas regiões de Jaboticabal e Monte Alto - SP**. 2002. 78f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.
- MELLO, C. R. et al. Predição da porosidade drenável e disponibilidade de água para Cambissolos da Microrregião Campos das Vertentes, MG. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.37, n.9, p.1319-1324, 2002.
- MELO FILHO, J. F. et al. Análise estatística exploratória e variabilidade da densidade do solo em um perfil de Latossolo Amarelo coeso dos tabuleiros costeiros da Bahia. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 30, n. 2, p.199-205, 2006.
- MENDES, F. G.; MELLONI, E. G.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v.12, n.3, p.211-220. 2006.
- MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p.1149-1159, 2003.
- MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O.; CORRENTE, J. E. Caracterização estatística de variáveis físicas do solo. **Acta Sci.**, Maringá, v. 25, n. 1, p.35-44, 2003.
- MILANI, D. I. C. et al. Variabilidade Espacial da Porosidade do Solo em um Latossolo Sob Plantio Direto. In: 3º SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. **Anais...** Sete Lagoas, 2005. (CD ROM e Internet).
- MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **R. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, Campina Grande, v.10, n.1, p.30-37, 2006.
- MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.30, n.5, p.839-847, 2006.
- NUSSIO, L. G. Cultura de milho para produção de silagem de alto valor alimentício. In: 4º SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS. Piracicaba: FEALQ, 1991. **Anais...**Piracicaba, 1991. (Impresso).
- OLSON, R. A.; SANDER, D.H. Corn production. In: SPRAGUE, G.F.; DUDLEY, J. W. (Ed.). **Corn and corn improvement**. Madison: n.18 in the Agronomy Series, American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc. and Soil Science Society of America, Inc., 1988, p.639-686.

PIMENTEL-GOMEZ, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 2002. 309p.

PONTES, J. M. **A geoestatística: aplicações em experimento de campo**. 2002. 82f. Dissertação (Mestrado) - Ufla, Lavras, 2002.

PRADO, H. **Solos do Brasil**: gênese, morfologia, classificação e levantamento. Piracicaba: Fundação Biblioteca Nacional, 2000. 182p.

PREVEDELLO, B. M. S. **Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta**. 1987. 166 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

QUEIROZ, J. E.; CRUCIANI, D. E.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial da porosidade drenável de um solo de várzea, no município de Piracicaba, estado de São Paulo. **R. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p.135-139, 1999.

RABAH, F. A. **Dependência espacial de atributos do solo por meio de semivariogramas e autocorrelogramas**. 2002. 90f. Tese (Doutorado) - Departamento de Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

RAIJ, B. V. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo planta e atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478p.

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D. P. **Pedologia e fertilidade do solo**: interações e aplicações. Brasília: Mec/esal/potafos, 1988. 81p.

RESENDE, M. et al. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa: Neput, 2002. 338p.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. 1995. 99f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

ROBINSON, G. W. **Los suelos**: su origen, constitución y clasificación. Barcelona: Omega, 1960. 515p.

RODRIGUES, J. B. T. **Variabilidade espacial e correlações entre atributos do solo e produtividade na agricultura de precisão**. 2002. 116f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

ROQUE, C. G. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com seringueira. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. Cuiabá, 2002. **Anais...** Cuiabá: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. (CD-ROM).

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.115-122, 1998.

SAMPAIO, F. M. T. et al. Correlações entre a permeabilidade e os atributos físicos do solo da sub-bacia do córrego Centenário da cidade de Lavras - MG. **Ciênc. Agrotec.** Lavras, v.30, n.4, p.798-803, 2006.

SANTOS, M. L. et al. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Sci.**, Maringá, v.28, n.3, p.313-321, 2006.

SCHAFFRATH, V. R. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo e de variáveis de plantas daninhas em sistemas de manejo de solo**. 2006. 91f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Paraná, Maringá, 2006.

SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. **SAS System for elementary statistical analysis**. 2.ed. Cary, 1997. 905p.

SECCO, D. et al. Atributos físicos e produtividade de culturas em um latossolo vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p.407-414, 2005.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, London, v.52, n.3-4, p.591-611, 1965.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distroférico Arênico. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p.1013-1020, 2003.

SIQUEIRA, G. M. **Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos**. 2006. 163f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2006.

SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2000. 209p.

SOUSA, J. R.; QUEIROZ, J. E.; GHEYI, H. R. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibano. **R. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p.140-144, 1999.

SOUZA, C. K. et al. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1067-1074, 2003.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em pomar cítrico. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p.367-372, 1997.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p.937-944, 2004a.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p.309-319, 2004b.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.699-707, 2001.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **R. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p.51-58, 2004c.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TAKEDA, Y. E. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. 2000. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.38, p.45-94, 1985.

UGOLINI, D. C.; EDMONDS, R. L. Soil Biology. In: WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. **Pedogenesis and soil taxonomy**. (Eds.) I. Concepts and interactions. Amsterdam: Elsevier Science, 1983, 193-231p.

VIEIRA, L. S. **Manual de ciência do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1975. 464p.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C.; VIEIRA, M. N. S. **Solos: propriedade, classificação e manejo**. Brasília: Mec/abeas, 1988. 154p. (Programa Agricultura nos Trópicos, v.2).

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

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas. **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p.181-190, 1997.

WUTKE, A. C. P.; CAMARGO, O. A. Adsorção e troca iônica. In: MONIZ, A. C. (Org.). **Elementos de pedologia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. p.125-147.

ZIMBACK, C. R.; CATANEO, A. Variabilidade espacial das características físicas de solos. In: AVANCES EN EL MANEJO DEL SUELOS Y AGUA EM LA INGENIERÍA RURAL LATINOAMERICANA. La Plata, 1998. **Anais...** La Plata: UNLP, 1998, p.132-137.

ZALAVSKY, D.; ROGOWSKI, A. S. Hidrologic and morphologic implications of anisotropy and infiltration in soil profile development. **Soil Science Society American Proc.**, v.33, n.4, p.594-599, 1969.