

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**Variabilidade Espacial da Produtividade de Forragem do  
Milho *Safrinha* em Função de Atributos Químicos do Solo**

**CLAUDIA RENATA DE FREITAS BEZERRA**  
*Engenheira Agrônoma*

Orientador: Prof. Dr. Luiz Malcolm Mano de Mello  
Co-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.

B574v Bezerra, Claudia Renata de Freitas.  
Variabilidade espacial da produtividade de forragem do milho safrinha em função de atributos químicos do solo / Claudia Renata de Freitas Bezerra. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2008  
70 p. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2008

Orientador: Luiz Malcolm Mano de Mello  
Co-orientador: Morel de Passos e Carvalho  
Bibliografia: p. 65-70

1. Solos – Manejo. 2. Química do solo. 3. Agricultura de precisão. 4. Milho. 5. Forragem.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** Variabilidade Espacial da Produtividade de Forragem do Milho Safrinha em Função de Atributos Químicos do Solo

**AUTORA:** CLAUDIA RENATA DE FREITAS BEZERRA

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

Aprovada como 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. MARCELO ANDREOTTI

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

Prof. Dr. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA

Departamento de Água e Solo / Universidade Estadual de Campinas

Data da realização: 27 de fevereiro de 2008.

---

Presidente da Comissão Examinadora  
Prof. Dr. MOREL DE PASSOS E CARVALHO

*“Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos,  
e não tivesse caridade,  
seria como o metal que soa ou como o sino que tine.”*

I aos Coríntios 13

À memória de,  
*Valdeci de Azevedo Pereira Bezerra*

**DEDICO e OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente a Deus que permitiu que eu estivesse aqui e pudesse realizar este trabalho;

A meu pai em especial, pelo amor e carinho nesta fase da minha vida;

Aos meus familiares pelo apoio, entusiasmo e compreensão: Maurício, Maria Lourdes, Ricardo, Fernando, Fábio, Ariany, Maria Aparecida e Fernanda;

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP – Campus de Ilha Solteira por mais esta chance de realizar este curso de Mestrado em Agronomia – área de concentração em Sistema de Produção;

À Fazenda Bonança do grupo da Pecuária Damha, pela concessão da área e apoio para que esse trabalho de pesquisa fosse realizado e também a todos os funcionários que sempre me auxiliaram com informações e execução das atividades;

Ao Prof. Dr. Luiz Malcolm Mano de Mello, pela orientação;

Ao Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho pela Co-Orientação, na realização das análises estatísticas e geoestatísticas e, pelas valiosas contribuições no presente trabalho;

Aos funcionários Carlos e João do laboratório de fertilidade do solo, pela amizade, e colaboração na realização das análises químicas;

Aos queridos colegas dos cursos de Pós-Graduação, Ronaldo, César Gustavo, Katiane e Cleiton pela ajuda, apoio, amizade, companheirismo e pelos bons momentos no convívio nesta etapa;

Aos meus amigos, que participaram desta caminhada: Iara, Adriana, Giovana, Mery, Regiane, Maicon, Lourival (In memória), Leila, Cida e Soraia;

A todos os professores da Pós-Graduação pelos ensinamentos, que tanto contribuí para o meu aprimoramento acadêmico e profissional;

Aos funcionários da FEP – Fazenda de Ensino e Pesquisa pelo apoio;

E a todos aqueles que direta ou indiretamente, teve uma participação nesta minha jornada, e mais uma vez não poderia deixar de agradecer ao colega Ronaldo Cintra de Lima pela colaboração.

**Muito Obrigada...**

**BEZERRA, C. R. F. Variabilidade espacial da produtividade de forragem de milho safrinha em função de atributos químicos do solo.** Ilha Solteira, 2008, 71p. Dissertação. (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

**RESUMO** A fertilidade do solo é um dos principais fatores relacionados à baixa produtividade das áreas destinadas tanto para a produção de grãos como de forragem de milho. O adequado fornecimento de nutrientes para o milho é de grande importância, pois, plantas bem nutridas apresentam maior potencial de produção. Assim sendo, os atributos químicos do solo são de extrema importância à sua produtividade. 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 química do solo de boa representatividade para estimar 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 m<sup>2</sup>. No ano de 2005, na Fazenda Bonança (Agropecuária Dahma), município de Pereira Barreto (SP), Brasil (20°40'12'' latitude S; 51°01'50'' longitude W), foi instalado o presente ensaio em uma área irrigada por pivô central e manejada no sistema de integração agricultura-pecuária, com plantio direto de milho sobre brachiária. Os atributos analisados foram: produtividade de forragem do milho (MSF), fósforo (P), matéria orgânica (MO), pH, potássio (K), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por base (V%) e a necessidade de calagem para elevação da saturação por bases a 70% (NC), nas profundidades 1 (0-0,20 m) e 2 (0,20-0,40 m). No geral, os atributos estudados, além de não terem revelado distribuição aleatória, apresentaram variabilidade entre baixa e muito alta. Seguiram padrões espaciais claramente definidos, com alcances da dependência espacial entre 7,6 e 42,0 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 42,0 metros. Apesar da correlação linear entre a MSF com K1 e K2 ter sido baixa, foi extremamente significativa. Contudo, do ponto de vista espacial, houve excelente correlação entre a produtividade e o potássio estabelecido nas duas camadas de solo. Assim, o potássio do solo (r\_K1 e r\_K2), apresentou-se como satisfatório indicador da qualidade química do solo, quando destinado à produtividade de forragem do milho safrinha.

**Termos de indexação:** geoestatística, dependência espacial, manejo do solo, qualidade química do solo, agricultura de precisão, *Zea mays*.

**BEZERRA, C. R. F. Spatial variability of corn autumnal forage yield regarding the chemical soil features.** Ilha Solteira, 2008, 71p. Dissertation. (Master's Degree of Systems of Production) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

**ABSTRACT** The soil fertility is one of the most important factors which are linked to low yields of the areas for growing grains or corn forage. The appropriate nutrient supply for corn is of great importance as plants with the right nutrient content show better yields. Therefore, the soil chemical features are extremely important for good yields. The objective of this experiment was to study the variability and the linear and spatial correlations between plant and soil features, aiming at selecting an indicator which appropriately represents the soil chemical quality for forage yield. A geostatistical mesh was installed to collect the soil and plants data; there were 125 sampling stations in an area of 2500 m<sup>2</sup>. This experiment was established in 2005, on Bonança Farm (Agropecuária Dahma), in Pereira Barreto (SP), Brazil (20°40'12'' latitude S; 51°01'50'' longitude W); the area was irrigated by center pivot and under crop-livestock integration, no-tillage system for growing corn after *Brachiaria*. The analyzed features were: corn forage yield (CFY), phosphorus (P), organic matter (OM), pH, potassium (K), potential acidity (H+Al), sum of bases (SB), cation exchange capacity (CEC), base saturation (V%) and liming need in order to increase the base saturation up to 70% (LN), in two different depths: 1 (0-0.20 m) and 2 (0.20-0.40 m). Overall, the studied features, besides not revealing random distribution, showed variability between low and very high. They showed clearly defined spatial patterns which range between 7.6 and 42.0 meters. Thus, the greatest range which can ensure extreme magnitude similarity with any of the studied features and feed the precision farming software must be of 42.0 meters. Although the linear correlation between CFY and K1 and K2 was low, it was extremely significant. However, from the spatial point of view, there was an excellent correlation between the referred yield and potassium in both soil depths. Therefore, the soil potassium (r\_K1 and r\_K2) proved to be a good indicator of the soil chemical quality, when concerning corn forage yield.

**Keywords:** geostatistics, spatial dependence, soil management, soil chemical quality, precision farming, *Zea mays*.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
01	Vista geral da cultura do milho ao final do crescimento (29/04/05).....	24
02	Esquema da malha experimental alocada na Fazenda Bonança, município de Pereira Barreto (SP).....	25
03	Semivariogramas simples dos atributos do milho <i>safrinha</i> (MSF, AME, ALT e DMC) sob um Latossolo Vermelho Distrófico .....	43
04	Semivariogramas simples dos atributos químicos (P1, P2, MO1, MO2, pH1 e pH2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	44
05	Semivariogramas simples dos atributos químicos (K1, K2, HA11, HA12, SB1 e SB2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	45
06	Semivariogramas simples dos atributos químicos (CTC1, CTC2, V1, V2, NC1 e NC2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	46
07	Validação cruzada dos atributos do milho <i>safrinha</i> (MSF, AME, ALT e DMC) produzida num Latossolo Vermelho Distrófico.....	49
08	Validação cruzada dos atributos químicos (P2, MO2, pH1 e pH2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	50



<b>Figura</b>	<b>Página</b>
09 Validação cruzada dos atributos químicos (K1, K2, HA11 e HA12) de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	51
10 Validação cruzada de alguns atributos químicos (SB1, SB2, CTC1 e CTC2) de um Latossolo Vermelho Distrófico da Fazenda Bonança (Pereira Barreto – SP).....	52
11 Validação cruzada dos atributos químicos (V1, V2, NC1 e NC2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	53
12 Mapas de krigagens simples dos atributos do milho <i>safrinha</i> (MSF, AME, ALT e DMC) produzido num Latossolo Vermelho Distrófico.....	55
13 Mapas de krigagens simples dos atributos (P2, MO2, pH1 e pH2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	56
14 Mapas de krigagens simples dos atributos químicos (K1, K2, HA11 e HA12) de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	57
15 Mapas de krigagens simples dos atributos químicos (SB1, SB2, CTC1 e CTC2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	58
16 Mapas de krigagens simples dos atributos químicos (V1, V2, NC1 e NC2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	59
17 Semivariogramas cruzados e mapas de cokrigagens entre a massa seca de forragem de milho safrinha em função de alguns atributos (pH2, K1, K2 e CTC1) de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	63

## LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
01	Cor, análise granulométrica e química de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).....	24
02	Análise descritiva de alguns atributos do milho <i>safrinha</i> e químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	33
03	Matriz de correlação entre alguns atributos do milho <i>safrinha</i> e químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	39-40
04	Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos do milho <i>safrinha</i> e químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	42
05	Parâmetros das validações cruzadas de alguns atributos do milho <i>safrinha</i> e químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	48
06	Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados para a cokrigagem entre a produtividade de massa seca da forragem do milho <i>safrinha</i> e alguns atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	61
07	Parâmetros das validações cruzadas referentes às cokrigagens entre a produtividade de massa seca do milho <i>safrinha</i> e alguns atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico.....	62

## SUMÁRIO

### Página

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. A cultura do milho.....	14
2.2. Conceitos gerais em geoestatística.....	15
2.3. A geoestatística aplicada à produtividade da cultura do milho e aos atributos químicos da fertilidade do solo.....	17
2.3.1. Correlação entre a produtividade da cultura do milho e os atributos químicos da fertilidade do solo.....	18
2.3.2. Variabilidade da produtividade da cultura do milho e dos atributos químicos da fertilidade do solo.....	18
2.3.3. Análise da dependência espacial da produtividade da cultura do milho e dos atributos químicos da fertilidade do solo.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1. Localização e caracterização da área experimental.....	23
3.2. Implantação e condução da cultura do milho.....	23
3.3. Implantação e caracterização da malha experimental.....	25
3.4. Coleta e metodologia de determinação dos atributos químicos do solo.....	26
3.5. Coleta e análise dos atributos da planta.....	27
3.6. Análise estatística dos dados.....	28
3.6.1. Análise descritiva dos dados.....	28
3.6.2. Análise de regressão.....	29

3.6.3. Análise geoestatística .....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
4.1. Análise descritiva inicial dos dados .....	32
4.1.1. Variabilidade dos dados dos atributos estudados .....	32
4.1.1.1. Atributos da planta .....	32
4.1.1.2. Atributos químicos do solo.....	32
4.1.2. Distribuição de frequência e valores médios dos atributos estudados .....	35
4.1.2.1. Atributos da planta .....	35
4.1.2.2. Atributos químicos do solo.....	36
4.2. Análise de regressão entre os atributos estudados.....	38
4.2.1. Regressão linear simples .....	38
4.2.1.1. Matriz de correlação linear simples entre os atributos estudados .....	38
4.2.1.1.1. Atributos da planta versus atributos da planta.....	38
4.2.1.1.2. Atributos da planta versus atributos químicos do solo.....	38
4.2.1.1.3 Atributos do solo versus atributos do solo .....	38
4.2.1.2. Regressão linear simples entre os atributos estudados .....	41
4.3. Análise geoestatística dos atributos estudados .....	41
4.3.1. Análise semivariográfica simples.....	41
4.3.1.1. Ajuste dos semivariogramas simples dos atributos estudados .....	41
4.3.1.2. Validação cruzada dos semivariogramas simples dos atributos estudados .....	47
4.3.1.3. Mapas de krigagem simples dos atributos estudados .....	54
4.3.2. Análise semivariográfica cruzada.....	59
4.3.2.1. Ajuste dos semivariogramas cruzados entre os atributos estudados .....	60
4.3.2.2. Validação cruzada dos semivariogramas cruzados entre os atributos estudados .....	59
4.3.2.3. Semivariograma cruzado e mapa de cokrigagem entre os atributos estudados.....	60

5. CONCLUSÕES..... 64

6. REFERÊNCIAS ..... 65

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays*) é cultivada em diversas regiões do mundo. Apesar do Brasil ser o terceiro maior produtor mundial desse cereal, sua produtividade média é baixa, de modo que a área plantada não é suficiente para atender a demanda do mercado interno, gerando problemas de abastecimento para a indústria nacional. Somente cerca de 15% da produção brasileira se destina ao consumo humano e, mesmo assim, de maneira indireta na composição de outros produtos.

A importância do milho para a produção animal se deve ao fato de que quase 80% de todo o milho produzido no país é consumido na forma de ração. O uso de silagem como volumoso na época seca é uma prática bastante comum entre os criadores de gado leiteiro e na engorda de bovinos de corte em confinamento. Dentre as forrageiras ensiladas, o milho se destaca por oferecer altos rendimentos e ótima adaptação às condições tropicais. Apesar do grande potencial das cultivares de milho, no Brasil, a média de produtividade de massa seca por hectare é muito baixa, estando na faixa de 4,0 a 15,0 t/ha. No entanto há casos em que se potencial de produtividade é superior a 20,0 t/ha. O conhecimento da quantidade de nutrientes contidos no solo agrícola é de fundamental importância para a obtenção de altas produtividades das culturas.

Devido à crescente preocupação com os recursos naturais, que são finitos, o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis é um desafio mundial. Nas últimas décadas a agricultura passou por diversas transformações, preocupando-se com o meio ambiente e com a necessidade de otimizar a utilização das áreas produtivas existentes.

Por muitos anos considerou-se que para um determinado solo os atributos químicos poderiam ser expressos por meio da média, ou seja, a agricultura convencional a tempo vinha tratando extensas áreas como sendo homogêneas, ignorando as variações espaciais existentes. A hipótese de independência estatística, baseado na estatística clássica, assume que a

variabilidade de determinado atributo do solo associado a sua média é aleatória e independente de distribuição espacial de uma mesma unidade amostral. No entanto, vários trabalhos empregando técnicas da geoestatística têm mostrado que a variabilidade dos atributos químicos do solo não é aleatória, apresentando em muitos casos dependência espacial.

O princípio da heterogeneidade do solo deve ser incorporado ao processo decisório na agricultura de precisão, pois o resultado de considerá-lo como sendo uma unidade homogênea acarretou num manejo impróprio dos recursos produtivos. Sob o enfoque do manejo da fertilidade, um dos problemas que haveria, ao se considerar um solo como sendo homogêneo, seriam as ocorrências de super e/ou subfertilização locais quando uma única quantidade de fertilizantes é aplicada. A superfertilização, além de ser ineficiente, pode ocasionar um distúrbio ao meio ambiente, contaminando o lençol freático com fertilizante químico, enquanto a subfertilização pode ocasionar a queda da produtividade em relação ao potencial de produção de área. As técnicas geoestatísticas, com base na construção de semivariogramas, permitem a descrição da dependência espacial das propriedades estudadas.

A agricultura de precisão é uma filosofia de gerenciamento agrícola, pois o conhecimento da variabilidade espacial do solo e das plantas é de grande importância para a avaliação da fertilidade e subsidia a tomada de decisão final. Após identificar qual o atributo do solo é o responsável pela variabilidade dentro do campo, o produtor poderá então manejar aquela variabilidade para aumentar a produtividade e os lucros.

Como o custo de produção, não só do milho mas de todas as culturas hoje em dia, é muito alto, é preciso que o agricultor seja orientado tecnicamente, para investir bem o seu capital. Dessa maneira, ressalta-se a necessidade de pesquisas, que dêem sustentação para a implantação dessa tecnologia.

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 (*safrinha*) com os atributos químicos do solo pesquisado, e c) pesquisar, entre os atributos do solo, aquele que venha a se apresentar como indicador da sua qualidade química, visando ao aumento da produtividade de forragem do milho para o local estudado.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. A cultura do milho

Cultivado em todas as regiões do Brasil, o milho é uma planta da família *Poaceae* e da espécie *Zea mays* L. Caracterizado como um cereal de altas qualidades nutritivas. É usado tanto diretamente como alimento quanto para usos alternativos. A maior parte de sua produção é destinada às atividades agrícolas que usam a ração animal como base alimentar, como a pecuária, a avicultura, a suinocultura e a piscicultura (DIAS, 2005).

A silagem vem sendo utilizada como uma das principais alternativas na alimentação de gado leiteiro e na engorda de bovinos de corte em confinamento, principalmente durante o período de menor produção das forragens. Dentre as forrageiras ensiladas, o milho se destaca por oferecer teores mais elevados de carboidratos solúveis essenciais para acelerar a fermentação láctica, altas produtividade de massa seca e adaptação às condições tropicais (LEMPP et al., 2000).

O cultivo de milho, tanto destinado à produção de grãos como de silagem, é resultado da interação entre o potencial genético do cultivar, as práticas culturais adotadas e as condições climáticas reinantes durante o desenvolvimento da cultura (FANCELLI et al., 2000).

A fertilidade do solo é um dos principais fatores relacionados a baixa produtividade das áreas destinadas tanto para a produção de grãos como de forragem. O adequado fornecimento de nutrientes para o milho é de grande importância, pois, plantas bem nutridas apresentam maior potencial de produção. As necessidades nutricionais de qualquer planta são determinadas pela quantidade extraída durante o seu ciclo, esta extração total dependerá, portanto, da produtividade obtida e da concentração de nutrientes nos grãos e na palhada. Assim, tanto na produção de grãos como na de silagem será necessário colocar à disposição da planta a quantidade total de nutrientes extraídos, que deve ser fornecido pelo solo por meio



de correção do solo e fertilização do mesmo (COELHO et al., 1995).

## 2.2. Conceitos gerais em geoestatística

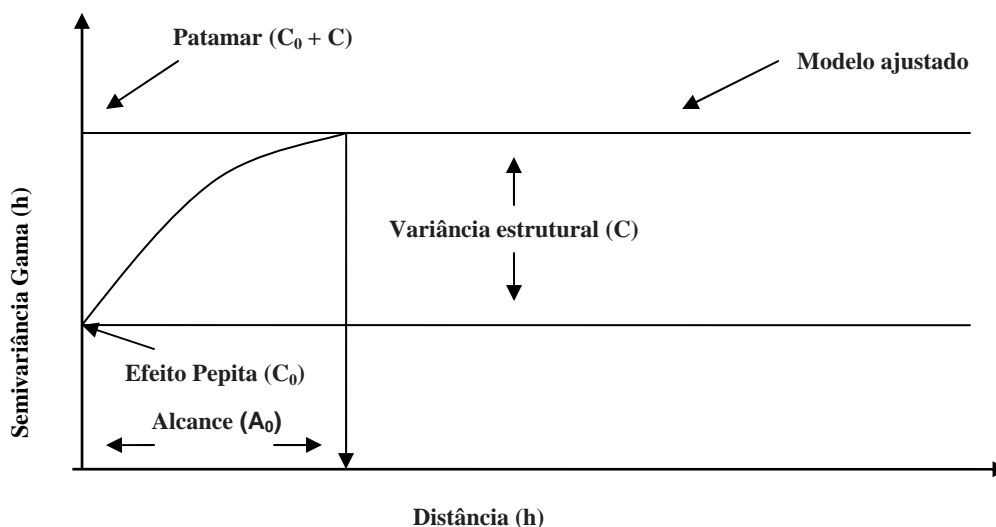
A geoestatística surgiu na África do Sul quando Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, não conseguiu encontrar sentido nas variâncias, se não levasse em conta a distância entre as amostras. Esta foi a base da chamada *teoria das variáveis regionalizadas*, desenvolvida por Matheron (1963). A partir daí foi estendendo seu campo de aplicação para outras áreas de pesquisa, como o estudo de propriedades geoquímicas e edafológicas (CARVALHO et al., 1998). A geoestatística permite a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural que eles apresentam, partindo do pressuposto da existência de uma dependência espacial entre os dados pesquisados, dentro do espaço amostrado no campo (CARVALHO, 1991).

Segundo Trangmar et al. (1985), Fietz (1998) e Gonçalves (1997), a estatística clássica assume que a variabilidade do valor de um atributo do solo, em torno da média, é aleatória e independente da posição espacial dos valores amostrais. A média aritmética é uma boa medida descritiva para dados com distribuição normal. No entanto, Vieira et al. (1981) mostraram que a variabilidade de atributos do solo é espacialmente dependente, ou seja, dentro de um certo domínio, as diferenças entre os valores de um atributo do solo podem ser expressas em função da distância de separação entre as observações medidas.

Matheron (1963) definiu a variável regionalizada como uma função espacial numérica, que varia de um local para outro, com uma continuidade aparente e cuja variação não pode ser representada por uma função matemática simples. Essa continuidade ou dependência espacial pode ser estimada por meio do semivariograma. Uma aplicação imediata do semivariograma é a utilização das suas informações na interpolação, ou seja, na estimativa de dados e o posterior mapeamento da variável. O interpolador que utiliza o semivariograma em sua modelagem é chamado de krigagem (GUIMARÃES, 2004). O processo de interpolação nada mais é do que estimar valores de um atributo em locais não amostrados, a partir de valores vizinhos resultantes da amostragem realizada (VIEIRA, 2000). O semivariograma é uma equação que relaciona a semivariância com a distância, e pode adquirir muitas formas, dependendo do conjunto de dados e do intervalo amostral (TRANGMAR et al., 1985).

O gráfico de  $\gamma(h)$  versus  $h$  representa o semivariograma, que permite obter a estimativa do valor da semivariância para as diferentes combinações de pares de pontos e, assim analisar o grau de dependência espacial da variável estudada e definir os parâmetros necessários para a estimativa de suas características em locais não amostrados (ISSAKS et al., 1989).

O gráfico do semivariograma experimental é representado da seguinte forma:



Os parâmetros do semivariograma podem ser descritos como: **1) Alcance ( $A_0$ )**: distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. O alcance é indicado pela distância a partir da qual cessa o incremento da semivariância estimada, que atinge um valor de patamar. Representa o alcance da dependência espacial, equivalente ao raio de influência, dos pontos amostrados sobre sua vizinhança (VIEIRA, 2000). **2) Patamar ( $C_0 + C$ )**: que é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante (é o máximo da semivariância). O patamar (*sill*) é atingido quando a variância dos dados se torna constante com as distâncias entre as amostras e esse parâmetro permite a determinação da distância limite entre a dependência e a independência entre as amostras (ISSAKS et al., 1989). **3) Variância estrutural ( $C$ )**: é a diferença entre o nível da semivariância definida pelo patamar e a semivariância inicial, representada pelo efeito pepita. **4) Efeito Pepita ( $C_0$ )**: idealmente, é o valor de  $\gamma$  quando  $h=0$ . O efeito pepita, ou *nugget effect*, reflete o erro analítico, indicando uma variabilidade não explicada (ao acaso) de um ponto para o outro, que pode ser devido tanto a erros de medidas ou microvariações não detectadas em função da distância de amostragem utilizada (CAMBARDELLA et al., 1994, PAZ et al., 1996, VIEIRA, 1997), sendo impossível quantificar a contribuição individual dos erros de medições ou da variabilidade. Se o semivariograma for constante e igual ao patamar para qualquer valor de  $h$ , tem-se o efeito pepita puro. Portanto, a ausência total de dependência espacial, ou seja, a independência espacial, se existir, será manifestada à distância menor do que o menor espaçamento entre amostras (GUIMARÃES, 2004).

Para diminuir os valores do efeito pepita é necessário que a amostragem seja realizada

em distâncias menores que as utilizadas normalmente para que assim se possa detectar a estrutura da variância, ou seja, a escala de variabilidade natural do fenômeno (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978, SILVA, 1988, DOURADO NETO, 1989, MACHADO, 1994, LAMPARELLI et al., 2001).

De acordo com Trangmar et al. (1985), um efeito pepita de 0% indica que o erro experimental é praticamente nulo e que não existe variação significativa para distâncias menores que a amostrada. Quanto menor a proporção do efeito pepita em relação ao patamar, maior será a semelhança entre os valores vizinhos e a continuidade do fenômeno e, menor a variância da estimativa e, portanto, maior a confiança que se pode ter nas estimativas (VIEIRA, 2000).

A validação cruzada é uma ferramenta destinada para avaliar qual modelo de semivariograma deve ser utilizado dentre alguns candidatos. Consiste em remover uma observação do conjunto de dados e, usando um estimador e uma função ponderada relacionada com a distância, como a krigagem, estima-se o valor retirado utilizando os dados remanescentes. Portanto, pode-se construir um gráfico de valores observados *versus* estimados, para todos os pontos. O semivariograma melhor ajustado é aquele que possui o maior coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados (MYERS, 1997). 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 (a) igual a zero e o angular (b) igual a um (VIEIRA, 1995, ROBERTSON, 1998, GONÇALVES et al., 1999).

Algumas áreas das ciências agrárias, como a ciência do solo, frequentemente apresentam situações em que existe a correlação espacial entre duas variáveis, e a estimativa de uma delas pode ser feita usando-se informações de ambas, expressas no semivariograma cruzado e no método chamado cokrigagem (VIEIRA, 2000).

### **2.3. A geoestatística aplicada à produtividade da cultura do milho e aos atributos químicos da fertilidade do solo**

É crescente o número de trabalhos empregando-se a geoestatística, que é utilizada com a finalidade de estudar as relações entre a variabilidade espacial de atributos químicos do solo e a variabilidade da produtividade das culturas agrícolas, visando identificar a relação de causa e efeito entre esses atributos. Os atributos do solo não variam ao acaso, mas de acordo com uma dependência espacial. Portanto, há necessidade de se definir o grau de dependência, para poder identificar o que está limitando a produtividade das culturas (BERALDO, 2004).

Segundo Issaks et al. (1989), a amostragem de solo em grade tem demonstrado ser o

método mais eficiente para avaliar a variabilidade espacial da fertilidade do solo. Não há regras de quantas amostras utilizar, uma vez que depende do tipo de trabalho e do nível de detalhamento que se pretende obter, ou seja, quanto maior o número de pontos amostrais, maior será a precisão.

### **2.3.1. Correlação entre a produtividade da cultura do milho e os atributos químicos da fertilidade do solo**

O coeficiente de correlação ( $r$ ) avalia o grau de relacionamento entre causa e efeito de um fenômeno qualquer. Assim, a comparação entre dois coeficientes de correlação define se dois fenômenos mostram a mesma resposta de uma das variáveis ( $y$ ), quando se faz variar a outra ( $x$ ), ou se elas respondem de maneira diversa, mostrando diferentes tendências de variação, de um fenômeno para outro (CAMPOS, 2000).

Segundo Shimakura (2006), o valor  $r$  está sempre entre -1 e +1. Assim, valores de  $r$  negativos, ou positivos, indicam uma associação respectivamente negativa e positiva. Quanto maior o valor de  $r$  (positivo ou negativo), mais forte será a associação. No extremo, se  $r = 1$  ou  $r = -1$ , então todos os pontos no gráfico da dispersão caem exatamente numa linha reta. Pode-se descrever uma correlação em palavras, dado o valor numérico para os valores de  $r$  (+ ou -), da seguinte forma: de 0,00 a 0,19 (correlação nula), 0,20 a 0,39 (correlação fraca), 0,40 a 0,69 (correlação moderada), 0,70 a 0,89 (correlação forte), 0,90 a 1,00 (correlação muito forte).

Manziane (2002), estudando a variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico textura argilosa em Araguari – MG, encontrou correlação muito forte entre pH e V% (0,90); forte entre pH e SB (0,88), SB e V% (0,89), V% e H + Al (0,85). Montezano et al. (2006), trabalhando com dados de variabilidade espacial da fertilidade de um Latossolo no município de Planaltina – GO e produtividade de milho, indicaram valores de correlação significativos entre H+Al e MO (0,81); SB e MO (0,46); CTC e MO (0,88); CTC e H+Al (0,88); CTC e SB (0,58); V% e H+Al (-0,75).

### **2.3.2. Variabilidade da produtividade da cultura do milho e dos atributos químicos da fertilidade do solo**

Segundo Pimentel-Gomez e Garcia (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada conforme a magnitude do seu coeficiente de variação (CV). Assim, suas classes foram estipuladas como: de  $0\% < CV \leq 10\%$  (baixo),  $10\% < CV \leq 20\%$  (médio),  $20\% < CV \leq 30\%$  (alto) e  $CV > 30\%$  (muito alto).

Avaliando a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e da produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico em Santa Maria – RS na profundidade de 0,00-0,20 m, Silva et al. (2003a) encontraram os maiores coeficientes de variação, sendo que o maior valor foi para fósforo disponível, de 111%, mostrando grande variação na área amostrada. Com base no critério de Pimentel-Gomez & Garcia (2002), as variáveis produtividade de milho (22,6%) e potássio trocável (28,8%) apresentaram CV alto; acidez potencial (13,4%) e a saturação por bases (10,9%) com CV médio; e matéria orgânica (8,1%) e CTC efetiva (7,2%) com CV baixo. Montezano et al. (2006), estudando a variabilidade espacial da fertilidade de um Latossolo no município de Planaltina – GO, na profundidade de 0,00-0,20 m, em área cultivada com milho, obtiveram o menor valor de coeficiente de variação para o pH em  $\text{CaCl}_2$  (3,54%); sendo que os demais atributos químicos do solo revelaram-se como: muito alto, para fósforo (52,02%); alto, para acidez potencial (20,47%); médio, para matéria orgânica (16,62%), potássio (11,25%), soma de bases (16,94%), CTC a pH 7,0 (14,66%) e saturação por bases (14,64%); e baixo, para produtividade do milho (5,48%). Santos et al. (2006), analisando a produtividade de grãos de milho, irrigado com pivô central, de um Latossolo Vermelho distroférico típico argiloso em Selvíria – MS sob plantio direto do Cerrado Brasileiro encontraram um valor de CV médio (14,4%).

Rodrigues (2002), trabalhando com dados de um Latossolo Vermelho distroférico textura argilosa situado no município de Araguari – MG na profundidade de 0,00-0,20 m, indicaram coeficientes de variação para produtividade de milho, no ano de 1998, de 44% (muito alto), e no ano de 2000 foi de 19% (médio). No entanto, para os atributos do solo, os valores de CV encontrados foram de 8% (baixo) para pH, 9% (baixo) para MO, 89% (muito alto) para P, 49% (muito alto) para K, 35% (muito alto) para SB, 12% (médio) para CTC, 32% (muito alto) para V%. Mello (2002), estudando áreas intensamente cultivadas nas regiões de Jaboticabal (Argissolo Vermelho Amarelo - PVA) e Monte Alto (Latossolo Vermelho - LV) – SP, na profundidade de 0-0,20 m, apontou coeficientes de variação para P de 74,44% (LV) e 95,52% (PVA); MO 18,10% (LV) e 34,51% (PVA); pH 7,72% (LV) e 11,65% (PVA); K 92,41% (LV) e 89,28% (PVA); CTC 23,19% (LV) e 55,06% (PVA); V% 24,43% (LV) e 24,33% (PVA). Assim como, Santos et al. (2001), em um experimento em Angatuba – SP, na região do Vale do Paranapanema, retiraram amostras para análise de fertilidade de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m, encontrando coeficientes de variação respectivamente de 9,03 e 12,55% (MO); 3,02 e 3,45% (pH); 32,44 e 42,41% (P); 38,82 e 23,00% (K); 3,95 e 29,78% (V%).

Corá et al. (2004), com objetivo de caracterizar a variabilidade espacial de atributos químicos de solos em Jaboticabal – SP, onde estes foram classificados como Latossolo Vermelho distrófico típico textura média e Latossolo Vermelho eutroférico típico argiloso epidistrófico, com predomínio deste último em áreas de intenso cultivo, na profundidade de 0,00-0,20 m, obtiveram CV com os seguintes valores: 44% (P); 15% (MO); 8% (pH); 48% (K); 25% (H+Al); 14% (CTC); 33% (V%). Weirich Neto et al. (2005), estudando a fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico da região de Campos Gerais – PR, encontraram coeficientes de variação de 50,36% (K); 38,53% (P); 13,33% (V%) e 7,20% (CTC). Contudo, Silva et al. (2003b), analisando a variabilidade espacial de atributos de solo e planta em um Latossolo Vermelho distrófico em Cascavel - PR, apontaram CV muito alto para P (31,8%) e alto para K (26,2%). Já, Manzione (2002), estudando a variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa no município de Araguari – MG, indicaram coeficientes de variação de 89% (P); 58% (K); 36% (SB); 32% (V%); 28% (H+Al); 15% (CTC); 11% (MO); 8% (pH). Por fim, Freddi (2003), trabalhando com dados de um Latossolo Vermelho distroférico típico muito argiloso em Selvíria - MS, encontrou valores de CV muito alto para necessidade de calagem, para elevação da saturação por bases a 70% (NC<sub>70</sub>), tanto no plantio convencional (70,9%) como no direto (103,6%).

### **2.3.3. Análise da dependência espacial da produtividade da cultura do milho e dos atributos químicos da fertilidade do solo**

Diversos estudos de atributos químicos do solo e de planta demonstraram uma gama muito grande de resultados dos parâmetros semivariográficos. Assim, Silva et al. (2003a), estudando a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e produtividade de milho, coletaram 192 amostras em um Argissolo Vermelho-Amarelo, com ajustes semivariográficos em modelo esférico (fósforo disponível e saturação por bases), modelo exponencial (produtividade do milho e acidez potencial), e o modelo gaussiano (potássio trocável e matéria orgânica do solo). O menor valor de alcance foi de 4,5 m para a produtividade de milho, e o maior foi de 53,2 m, para fósforo disponível e demais valores de alcance de 6,0 (H+Al), 9,5 (MO), 16,6 (K), 18,9 (V%) e 20,2 m (CTC). A produtividade de grãos de milho, fósforo disponível, potássio trocável e matéria orgânica do solo apresentaram dependência espacial moderada, enquanto, a acidez potencial, CTC efetiva e saturação por bases apresentaram classificação forte.

Santos et al. (2006), estudando a correlação linear e espacial da produtividade de milho em um Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso localizado no município de Selvíria – MS, utilizaram uma malha experimental contendo 120 pontos amostrais. Para a produtividade de grãos obtiveram moderada dependência espacial, com ajuste semivariográfico esférico, com alcance de 41,1 m.

Rodrigues (2002), trabalhando com variabilidade espacial e correlações entre atributos de solo e produtividade, demarcou 204 pontos em um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa em Araguari – MG, encontrou ajustes dos modelos exponencial (produtividade de milho, pH, MO e K) e esférico (SB e V%), com alcances de 32,0, 41,8, 145, 130, 386, 460 e 357 m respectivamente para milho safra 1997/98, milho safra 1999/2000, pH, MO, K, SB e V%.

Corá et al. (2004) coletaram dados químicos em 421 pontos no município de Jaboticabal – SP, onde os solos foram classificados como Latossolo Vermelho distrófico típico textura média e Latossolo Vermelho eutrófico típico argiloso epidistrófico, com predomínio deste último. Todos os atributos químicos, na profundidade de 0,00-0,20 m, apresentaram um moderado grau de dependência espacial, indicando ajustes semivariográficos esférico (P, pH e V%) e exponencial (MO, K, H + Al e CTC), com alcances de 1034 m (P), 126 m (MO), 783 m (pH), 102 m (K), 176 m (H + Al), 522 m (CTC) e 799 m (V%).

Weirich Neto et al. (2005), avaliando a fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em Campos Gerais – PR, definiram uma rede com 60 pontos amostrais, e revelaram um ajuste com modelo gaussiano para K e CTC, respectivamente com alcance de 99 e 330m, já para CTC e P não foi possível ajustar uma modelo ao semivariograma (efeito pepita puro). Entretanto, Silva et al. (2003b), trabalhando com um Latossolo Vermelho distrófico em Cascavel – PR, coletaram amostras de 256 parcelas. Encontraram ajustes semivariográficos exponencial (P) com um alcance de 60 m, e esférico (K) com 43 m.

Mello (2002), estudando a variabilidade espacial de atributos químicos do solo, coletou 88 pontos em um Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) da região de Monte Alto –SP e 128 em um Latossolo Vermelho (LV) da região de Jaboticabal – SP, obtendo ajustes semivariográficos esférico e exponencial, com alcances variando de 385 a 6562 m (LV) e de 430 a 2140 m (PVA).

Manzione (2002) avaliou a variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa em Araguari – MG, em 204 amostras. O pH e a MO apresentaram modelo de semivariograma exponencial com alcance respectivamente de

370 e 224 m; H+Al, SB e V% tiveram ajuste com o modelo esférico com alcance respectivamente de 366 m, 464 m e 373 m; enquanto que para P e K foi detectado efeito pepita puro. Freddi (2003) analisou a variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho distroférico típico muito argiloso no município de Selvíria – MS, sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD). O modelo esférico foi o que melhor se ajustou para as variáveis CTC, V% e NC70, com alcance respectivamente de 22,4, 58,0 e 59,3 (PC) e de 30,2, 15,5 e 15,8 (PD), apresentando todos forte dependência espacial.

Silva et al. (2007) coletaram dados químicos em 68 pontos em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico localizada no município de Ijací, sul de Minas Gerais. Encontraram ajuste semivariográfico esférico para SB e CTC, com alcances respectivamente de 65,2 e 98,5m. Já, Angelico (2006), utilizando uma rede contendo 275 pontos coletados próximo à divisa dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, no município de Itiquira, indicou ajustes semivariográficos esférico e exponencial para MO e pH, com alcances respectivamente de 103 e 50 m.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização e características da área experimental

O experimento foi conduzido no ano de 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<sub>w</sub>, segundo classificação de Koeppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo <sup>(1)</sup> representativo da área estudada, classificado conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária–EMBRAPA (2006), foi um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico franco-arenoso, álico, epicompactado, fortemente ácido, cujos dados analíticos encontram-se no Quadro 1.

#### 3.2. Implantação e condução da cultura do milho

A planta-teste trabalhada foi o milho *safrinha* (*Zea mays* L) (Figura 1), com a finalidade de produção de massa verde para forragem destinada à alimentação bovina. Sua semeadura foi sobre pastagem irrigada (*Brachiaria brizanta*, cv Marandu), anteriormente utilizada durante 6 anos com bovinos no sistema rotacionado intensivo, dessecando-a 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 rotina, realizada em 03/02/05 (Quadro 1). Assim, o

---

<sup>(1)</sup> CARVALHO, M. P. Comunicação pessoal. 2006. (Depto. de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos – Faculdade de Engenharia-UNESP, Campus de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil).

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-

Quadro 1: Cor, análise granulométrica e química de um Latossolo Vermelho Distrófico.

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

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



Figura 1: Vista geral da cultura do milho ao final do crescimento (29/04/05).

16. Na de cobertura foram feitas duas aplicações de uréia, uma em 28/02/05 e a outra em 16/03/05, 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 malha experimental

Foram definidas, as direções dos eixos cartesianos da malha geoestatística experimental (Figura 2), numa área entre dois terraços agrícolas. Assim, o eixo  $x$  foi estabelecido em nível enquanto que o  $y$  ficou no sentido do declive. Tal malha ficou constituída com um total de 125 pontos amostrais, distribuídos numa área de 2500m<sup>2</sup> (50 m x 50 m), com declividade média de 0,025 m/m.

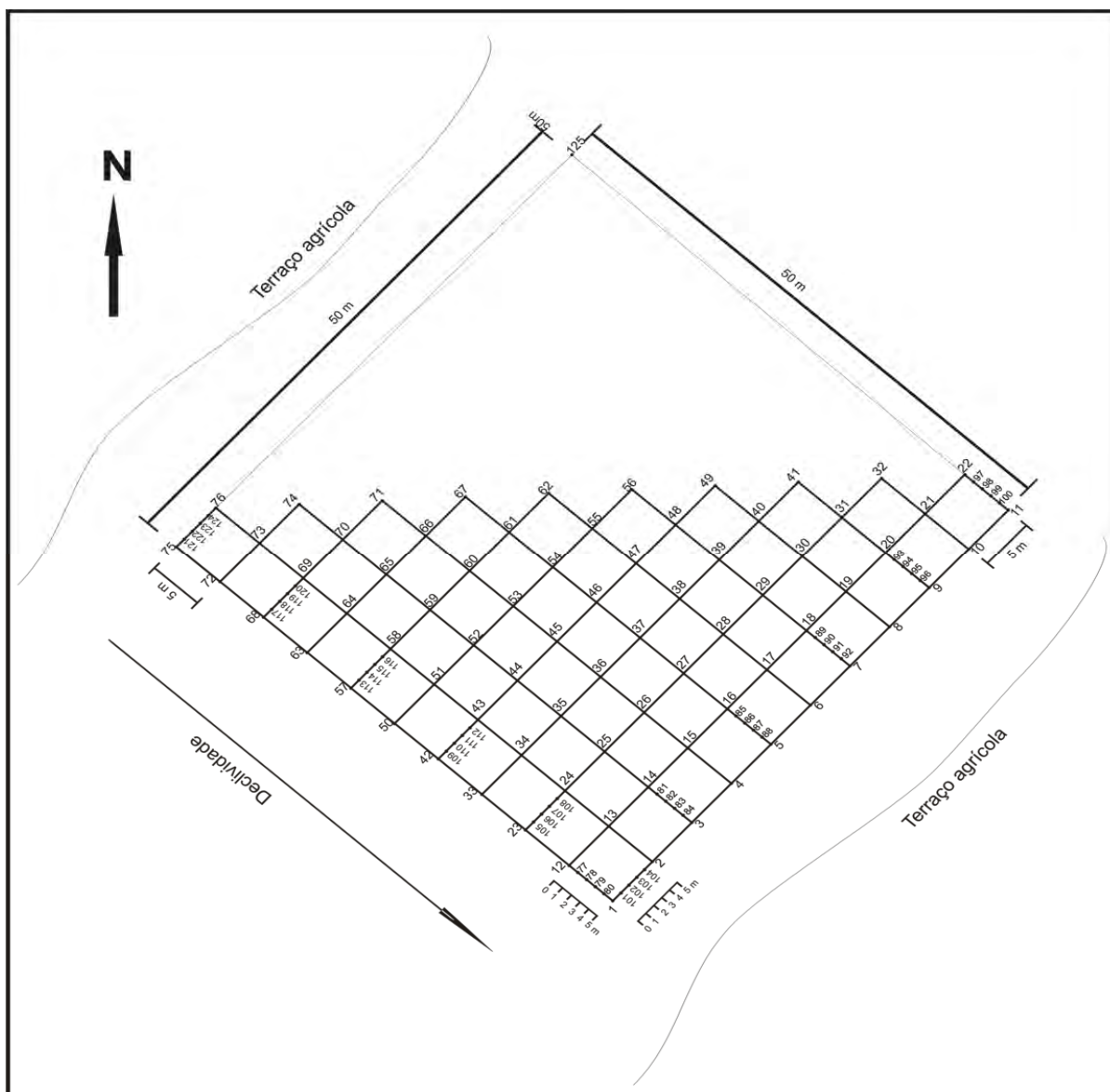


Figura 2: Esquema da malha experimental alocada na Fazenda Bonança, município de Pereira Barreto (SP).

O espaçamento utilizado entre os pontos amostrais da grande malha foi de 5 m, enquanto que na de refinamento foi de 1 m. Essa última foi estabelecida com a finalidade de se detectar alcances da dependência espacial para condições de espaçamentos menores do que os da grande malha. 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 malha, com 3,40 m de largura (4 linhas de semeadura) por 3,40 m de comprimento no sentido da linha, numa área de 11,56 m<sup>2</sup>, e b) na de refinamento disposta no eixo *x*, com 2,55 m de comprimento (3 linhas de semeadura) por 1,00 m de largura no sentido da linha, numa área de 2,55 m<sup>2</sup>, e no eixo *y*, com 1,70 m de comprimento (2 linhas de semeadura) por 1,50 m de largura no sentido da linha, numa áreas de 2,55 m<sup>2</sup>.

### 3.4. Coleta e metodologia de determinação dos atributos químicos do solo

Nos 125 pontos da malha foram coletadas amostras deformadas do solo (trado de caneca), individualmente em duas profundidades. Assim, os atributos foram identificados em virtude da camada de coleta da seguinte forma: para a camada de 0,00 – 0,20 m: P1 (fósforo), MO1 (teor de matéria orgânica), pH1 (CaCl<sub>2</sub>), K1 (potássio), HA11 (acidez potencial), SB1 (soma de bases), CTC1 (capacidade de troca catiônica), V1 (saturação por bases) e NC1 (necessidade da calagem para elevação da saturação por bases a 70% ); assim como, para a camada de 0,20 – 0,40 m: P2, MO2, pH2, K2, HA12, SB2, CTC2, V2 e NC2.

As análises do solo foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP). A metodologia utilizada para análise dos atributos químicos do solo para fins de fertilidade foi aquela preconizada por Brasil (1979) e Raij et al. (1987), descrita sucintamente a seguir:

**Fósforo (P):** o fósforo disponível no solo foi determinado pelo método de extração pela resina trocadora de íons, dado em mg/dm<sup>3</sup>;

**Matéria Orgânica (MO):** o carbono orgânico foi determinado por colorimetria, pelo método da combustão úmida. A matéria orgânica foi obtida indiretamente pela seguinte expressão:

$$MO = C \times 1,724 \times 10 \quad (1)$$

onde: **MO** é o teor de matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>) e **C** é o teor de carbono orgânico (g/dm<sup>3</sup>);

**pH:** determinado potenciométricamente em solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 M;

**Potássio (K<sup>+</sup>):** o potássio trocável foi determinado pelo método de extração com a resina trocadora de íons e quantificado separadamente, dados em mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>;

**Acidez Potencial ( $H^+ + Al^{+3}$ ):** foi determinada por meio do método determinado com acetato de cálcio 1 N como extrator, dado em  $mmol_c/dm^3$ ;

**Acidez trocável ( $Al^{+3}$ ):** determinado por meio do método de extração com KCl 1 N, dado em  $mmol_c/dm^3$ ;

**Valores SB, CTC, V%:** determinados indiretamente por meio das seguintes expressões:

$$SB = Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^+ \quad (2)$$

$$CTC = SB + H^+ + Al^{+3} \quad (3)$$

$$V\% = (SB/CTC) \times 100 \quad (4)$$

onde: **SB** é a soma de bases trocáveis ( $mmol_c/dm^3$ ), **CTC** é a capacidade de troca catiônica ( $mmol_c/dm^3$ ), **V%** é o índice de saturação por bases (%).

**NC<sub>70</sub>:** é a necessidade de calagem para elevação do índice de saturação por bases (V%) a 70 %, dada por:

$$NC_{70} = [CTC \times (V_2 - V_1)] / (10 \times PRNT) \quad (5)$$

onde: **NC<sub>70</sub>** é a necessidade de calagem para elevação do índice de saturação por bases (V%) a 70% ; **CTC** representa a capacidade de troca catiônica ( $mmol_c/dm^3$ ); **V<sub>2</sub>** é o índice de saturação por bases de 70% que deseja-se alcançar; **V<sub>1</sub>** é o índice de saturação por bases no qual o solo se encontra, e **PRNT** é o poder relativo neutralizante total do calcário, assumido como 75% conforme o fabricante.

### 3.5. Coleta e análise dos atributos da planta

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

A ALT consistiu no valor médio da altura de 10 plantas selecionadas 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, selecionadas ao acaso dentro da área útil de cada ponto amostral. O DMC foi representado pela média do diâmetro do colmo na altura de corte, para cinco plantas, as quais foram coletadas aleatoriamente dentro da área útil de cada ponto amostral.

A produtividade de massa verde foi obtida conforme o seguinte procedimento. Foram coletadas todas as plantas da área útil de cada ponto amostral, por meio de corte a aproximadamente 0,30 m 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 m<sup>2</sup> (malha fina) e 11,56 m<sup>2</sup> (grande malha). 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 massa 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:

$$\mathbf{MSF} = (\mathbf{MU}/\mathbf{AP}) \cdot \mathbf{FC} \cdot \mathbf{10^4} \quad (6)$$

onde: **MSF** representou a produtividade de massa seca da forragem de milho *safrinha* num determinado ponto amostral (kg/ha); **MU** representou o massa úmida total das plantas contidas na área designada por tal ponto (kg); **AP** representou a área útil do ponto amostral (m<sup>2</sup>); **FC** representou o fator de correção, da produtividade de massa verde para produtividade de massa seca da forragem contida no determinado ponto, e **10<sup>4</sup>** foi o fator de conversão de kg/m<sup>2</sup> 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 nas análises descritiva, de correlação e geoestatística.

#### 3.6.1. Análise descritiva dos dados

Com a utilização do software estatístico SAS foram calculados a média, mediana, valores mínimo e máximo, desvio padrão, coeficiente de variação, curtose, assimetria e análise de distribuição de frequência (SCHLOTZHAVER ; LITTELL, 1997). 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 malha de dados.

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 teste, a estatística  $W$  testa a hipótese nula, a qual julga ser a 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, seus valores de média, mediana, moda, mínimo e máximo foram retrotransformados ( $x_{rt}$ ) pelo uso de  $x_{rt} = 10^{(\log x)}$ .

### 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, e que, portanto, poderiam apresentar semivariograma cruzado e a conseqüente cokrigagem. Conjuntamente para todas as camadas estudadas do solo, foi efetuada a regressão linear múltipla entre a variável dependente da planta (MSF) e as independentes do solo (atributos do solo), objetivando selecionar aquelas que, nos devidos casos, proporcionariam as melhores relações entre causa e efeito, avaliadas pelo implemento do coeficiente de determinação. Para tanto, por intermédio do *step wise*, foi utilizado o Excel e o pacote computacional SAS.

### 3.6.3. Análise geoestatística

Para cada atributo foi analisada a dependência espacial por meio do cálculo do semivariograma, com base nos pressupostos de estacionaridade da hipótese intrínseca, com o pacote computacional *Gamma Design Software* (GS<sup>+</sup>, 2004). Algumas vezes os semivariogramas podem apresentar tendência em seus dados, ou seja, a hipótese intrínseca dos fenômenos naturais que se assume muitas vezes não ocorre. De acordo com Ribeiro Júnior (1995), a tendência refere-se a uma esperança não estacionária que acaba por provocar problemas de estimação do semivariograma. Quando isso ocorre pode ser utilizado a técnica de *Refinamento pela Mediana* dos dados. Assim, para alguns atributos, na indefinição de estacionaridade, retirou-se a tendência dos dados por meio da técnica do refinamento pela mediana, empregando-se a seguinte expressão de acordo com Silva et al. (2003a):

$$NV = VO - (ML+MC) + MG \quad (7)$$

onde: **NV** representa o novo valor residual do atributo; **VO** o valor original do atributo do

qual foi retirada a tendência; **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 malha amostral. Desta forma, pôde-se recalcular o semivariograma com os resíduos obtidos deste procedimento.

Os ajustes dos semivariogramas, 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 da dependência espacial (**ADE**). A decisão final do modelo que representou o ajuste foi realizada por meio da validação cruzada, assim como também para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor malha de krigagem e/ou cokrigagem. Para cada atributo foram relacionados o efeito pepita ( $C_0$ ), alcance ( $A_0$ ) e o patamar ( $C_0+C$ ). A análise do avaliador da dependência espacial (**ADE**) foi efetuada de acordo com conforme a seguinte expressão (GS<sup>+</sup>, 2004):

$$\mathbf{ADE} = [C/(C+C_0)] \cdot 100 \quad (8)$$

onde: **ADE** é o avaliador da dependência espacial; **C** é a variância estrutural; **C+C<sub>0</sub>** é o patamar. Desta forma, a interpretação proposta para **ADE** foi a seguinte: a)  $ADE \leq 25\%$ , indicando variável espacial fracamente dependente; b)  $25\% < ADE \leq 75\%$ , indicando variável espacial medianamente dependente, e c)  $ADE > 75\%$ , indicando variável espacial fortemente dependente.

Por outro lado, sabe-se que 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'), procedeu-se a retro-transformação deles pela seguinte expressão (DEUTSCH; JOURNAL, 1997):

$$Z^*(x) = 10^{\left[ Y^*(x) + \left( \frac{\sigma_k^2}{2} \right) \right]} \quad (9)$$



onde:  $z^*(x)$  é o valor retro transformado da variável normalizada,  $y^*(x)$  é o valor krigado do logaritmo da variável, e  $\sigma_{k(x)}^2$  é a variância amostral da krigagem do logaritmo da variável.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Análise descritiva inicial dos dados**

#### **4.1.1. Variabilidade dos dados dos atributos estudados**

##### **4.1.1.1. Atributos da planta**

No Quadro 2 está apresentada a análise descritiva de alguns atributos do milho *safrinha* e químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico. Dessa forma, para os atributos da planta, a altura (ALT) e o diâmetro médio 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 (AMEa) apresentaram média variabilidade, com 16,3 e 12,9%, respectivamente. O resultado de variabilidade obtido para produtividade de massa seca da forragem foi semelhante ao obtido por Melo et al. (1999) os quais, pesquisando num Latossolo Vermelho-Escuro obtiveram 13,54% de variabilidade; o mesmo ocorreu para altura de plantas, concordando com os dados de Beleze et al. (2003) e Melo et al. (1999), que trabalharam respectivamente com Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro. Por outro lado, o resultado obtido para altura de inserção da primeira espiga discordou de Beleze et al. (2003) e Melo et al. (1999), que relataram variabilidade baixa para este atributo; e Beleze et al. (2003) encontrou dados com média variabilidade para diâmetro do colmo do milho.

##### **4.1.1.2. Atributos químicos do solo**

No Quadro 2, foi constatado que o fósforo (P) apresentou uma variabilidade muito alta para as duas camadas estudadas, sendo de 58,0 % (P1) e 52,1% (P2). Resultados semelhantes puderam ser notados nos trabalhos de Santos et al. (2001), Mello (2002), Rodrigues et al. (2002), Silva et al. (2003a), Silva et al. (2003b), Corá et al. (2004), Weirich Neto et al. (2005) e Montezano et al. (2006) que trabalharam com Latossolos Vermelhos, Vermelho-

Quadro 2: Análise descritiva de alguns atributos do milho *safrinha* e químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico.

Atributo <sup>(a)</sup>	Medidas estatísticas descritivas									DF	
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Probabilidade do teste <sup>(b)</sup>		
			Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w		
<i>Atributos da planta</i>											
MSF (kg/ha)	14841	15049	8949	23198	2424	16,3	0,615	0,008	0,369	NO	
AMEa (m) <sup>(c)</sup>	1,446	1,439	1,321	1,641	0,021	12,9	-0,489	0,353	0,029	TL	
ALT (m)	2,703	2,690	2,470	2,920	0,093	3,4	-0,272	-0,023	0,556	NO	
DMC (cm)	2,490	2,498	2,132	2,808	0,126	5,1	0,293	-0,345	0,333	NO	
<i>Atributos do solo</i>											
P1 (mg/dm <sup>3</sup> )	7,1	6,0	1,0	18,0	4,129	58,0	-0,084	0,777	1,0.10 <sup>-4</sup>	IN	
P2 (mg/dm <sup>3</sup> )	1,9	2,0	1,0	4,0	0,964	52,1	-0,456	0,819	1,0.10 <sup>-4</sup>	IN	
MO1 (g/dm <sup>3</sup> )	17,9	18,0	8,0	28,0	4,682	26,2	-0,787	-0,087	0,028	TN	
MO2 (g/dm <sup>3</sup> )	9,6	10,0	4,0	16,0	2,198	22,9	-0,218	-0,168	0,009	IN	
pH1 (CaCl <sub>2</sub> )	5,57	5,60	5,00	6,10	0,208	3,7	0,284	-0,182	0,009	IN	
pH2 (CaCl <sub>2</sub> )	5,47	5,60	4,20	6,90	0,511	9,3	-0,164	-0,612	1,0.10 <sup>-4</sup>	IN	
K1 (mmolc/dm <sup>3</sup> )	0,89	0,80	0,40	2,00	0,377	42,5	0,772	1,174	1,0.10 <sup>-4</sup>	IN	
K2 (mmolc/dm <sup>3</sup> )	0,88	0,70	0,20	2,40	0,543	61,5	0,012	0,887	1,0.10 <sup>-4</sup>	IN	
HAI1 (mmolc/dm <sup>3</sup> )	15,5	16,0	9,0	22,0	2,273	14,7	0,530	0,092	3,0.10 <sup>-4</sup>	IN	
HAI2 (mmolc/dm <sup>3</sup> )	15,1	14,0	11,0	22,0	3,017	20,0	-0,587	0,621	1,0.10 <sup>-4</sup>	IN	
SB1 (mmolc/dm <sup>3</sup> )	24,38	24,95	13,8	33,90	4,683	19,2	-0,789	-0,091	0,067	NO	
SB2 (mmolc/dm <sup>3</sup> )	16,07	16,30	10,50	24,00	2,647	16,5	0,083	0,254	0,063	NO	
CTC1 (mmolc/dm <sup>3</sup> )	39,89	40,65	25,20	54,90	6,117	15,3	-0,693	-0,239	0,025	TN	
CTC2 (mmolc/dm <sup>3</sup> )	31,31	31,10	22,30	43,80	3,850	12,3	0,675	0,560	0,099	NO	
V1 (%)	61,2	61,0	51,0	72,0	4,229	6,9	-0,409	-0,098	0,442	NO	
V2 (%)	51,4	52,0	32,0	64,0	7,185	14,0	-0,353	-0,558	1,1.10 <sup>-3</sup>	IN	
NC1 (t/ha)	0,471	0,454	0,057	1,101	0,202	42,8	-0,105	0,292	0,446	NO	
NC2b (t/ha) <sup>(c)</sup>	0,709	0,706	0,273	1,738	0,186	21,8	-0,719	0,028	0,216	LN	

<sup>(a)</sup> MSF = produtividade de massa seca da forragem; AME = altura média de inserção da primeira espiga; ALT = altura da planta; DMC = diâmetro do colmo; P, MO, pH, K, HAI, SB, CTC, V, NC são respectivamente o fósforo, matéria orgânica, pH, potássio, acidez potencial (H+Al), soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, necessidade de calagem para elevação da saturação por bases a 70 % (NC<sub>70</sub>) em profundidade no solo; <sup>(b)</sup> DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN, LN, TL e IN respectivamente do tipo normal, tendendo à normal, lognormal, tendendo a lognormal e indefinida, <sup>(c)</sup> 1) atributos sucedidos das letras *a* e *b* tiveram valores representados pelos logaritmos decimais respectivamente divididos por 1 e 10, e 2) valores x\* da média, mediana, mínimo e máximo retrotransformados por x\* = 10<sup>logx</sup>.

Amarelos e Argissolo Vermelho-Amarelos entre distróficos e eutróficos. O teor de matéria orgânica (MO) apresentou alta variabilidade para MO1 e MO2 (26,2 e 22,9%). Tal variação foi semelhante à encontrada por Mello (2002), trabalhando com um Latossolo Vermelho Amarelo, porém diferiu dos dados de Montezano et al. (2006), Santos et al. (2001), Corá et al. (2004) e Silva et al. (2003a), que trabalharam com Latossolos Vermelhos entre distróficos e eutróficos e encontraram valores de média magnitude, e ainda diferentes dos encontrados por Silva et al. (2003b) e Rodrigues (2002) que trabalharam respectivamente com Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho distrófico, e encontraram baixa variação para este atributo. O pH do solo teve baixa variabilidade para pH1 e pH2 (3,7 e 9,3%), o mesmo foi constatado por Santos et al. (2001), Angelico (2006), Rodrigues (2002) e Corá et al. (2004) que trabalharam com Latossolos Vermelhos entre distróficos e eutróficos.

Para os valores de potássio (Quadro 2), a variabilidade encontrada foi muito alta, sendo de 42,5 (K1) e 61,5 % (K2). Autores como Weirich Neto et al. (2005), Manzione (2002) e Rodrigues (2002), que trabalharam com Latossolos Vermelhos distróficos, concordaram com o valor muito alto obtido para a profundidade de 0,00-0,20 m. Entretanto, Santos et al. (2001), que trabalharam com um solo da região de Angatuba (SP), discordaram do valor obtido para a profundidade de 0,20-0,40 m, que apresentou dados com magnitude alta. Para os dados de acidez potencial (HAl), esse atributo apresentou coeficiente de variação médio para HAl1 e HAl2 (14,7 e 20,0%). Valor semelhante foi encontrado por Silva et al. (2003b) em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico para a camada de 0,00-0,20 m. Por outro lado, diferiram dos dados de Manzione (2002), Corá et al. 2004 e Montezano et al. (2006), que trabalharam com Latossolos Vermelhos entre distrófico e eutroférico, e encontraram dados com valores altos. A soma de bases (SB) apresentou média variabilidade para SB1 e SB2 (19,2 e 16,5%). Resultados semelhantes para soma de bases puderam ser notados nos trabalhos de Silva et al. (2007) e Montezano et al. (2006) que trabalharam com Latossolos, ao passo que Rodrigues (2002) e Manzione (2002), que trabalharam com Latossolos Vermelhos distrófico, mostraram um coeficiente de variação muito alto.

A capacidade de troca catiônica (Quadro 2) apresentou média variabilidade para CTC1 e CTC2 (15,3 e 12,3%). Valores semelhantes foram encontrados por Corá et al. (2004), Manzione (2002) e Rodrigues (2002), os quais trabalharam com Latossolos Vermelhos entre eutroférico e distrófico. Porém diferentes daqueles de Silva et al. (2003b), Silva et al. (2007) e Weirich Neto et al. (2005), que trabalharam com Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos e encontraram valores de baixa magnitude, e ainda diferente do encontrado por Mello (2002) que trabalhou com Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico e Latossolo Vermelho

eutroférico, que encontrou alta variabilidade. O índice de saturação por bases (V%) apresentou baixa variabilidade para V1 (6,9%) ao passo que a V2 indicou média variabilidade (14,0%). Santos et al. (2001) estudaram com um solo da região de Angatuba (SP) e obtiveram valores de variabilidade médio e alto, respectivamente para as profundidades 0-0,20 e 0,20-0,40 m. Montezano et al. (2006), Silva et al. (2003a) e Weirich Neto et al. (2005) encontraram valores de magnitude média para este atributo em Latossolos Vermelhos distróficos. Por outro lado, diferiram dos dados de Corá et al. (2004), Manzione (2002) e Rodrigues (2002), que trabalharam com Latossolos Vermelhos entre eutroférico e distrófico e apresentaram dados com magnitude muito alta. Já a necessidade de calagem (NC), esse atributo apresentou coeficiente de variação muito alto para NC1 (42,8%) e alto para NC2 (21,4%). Tal variação foi semelhante à obtida por Freddi (2003) que trabalhou com Latossolo Vermelho distroférico e obteve valores de variação muito alto tanto no sistema de plantio convencional como no direto.

O conceito de Latossolo implica que as características deste solo são homogêneas, tanto no perfil quanto em extensão horizontal. No entanto, os valores dos atributos de fertilidade do solo apresentaram grande variabilidade (Quadro 2), revelando que o solo da área estudada não pode ser considerado homogêneo, uma vez que houve uma elevada variabilidade dos seus atributos, como observado para P, K e MO, ficando de acordo com Mello (2002) que trabalhou com Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico e Latossolo Vermelho eutroférico. Aliado a isso, efeitos residuais de adubações podem ter contribuído para o aumento da variabilidade do fósforo e do potássio, pois estes nutrientes foram distribuídos em linhas.

#### **4.1.2. Distribuição de frequência e valores médios dos atributos estudados**

##### **4.1.2.1. Atributos da planta**

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 (AMEa). Assim, o valor médio para MSF foi de 14,8 t/ha, ficando tal valor dentro da faixa de produtividade de massa seca do milho, apresentada por Mittelman et al. (2005) que trabalharam em sete locais da Região Sul do Brasil, que variou entre 7,0 a 22,1 t/ha, quando estudados distintos híbridos de milho. Tal variação foi semelhante à obtida por Melo et al. (1999) que trabalharam com Latossolo Vermelho-Escuro e obtiveram valores entre

12,49 a 20,59 t/ha de massa seca, na avaliação de cultivares de milho para a produção de silagem. 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 do milho *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 (AMEa), 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 químicos do solo

A distribuição de frequência do fósforo (Quadro 2) foi indeterminada (P1 e P2), porém diferente dos dados de Manzione (2002) e Corá et al. (2004) que trabalharam respectivamente com Latossolos Vermelhos entre distrófico e eutroférico e apresentaram distribuição lognormal e tendendo a lognormal, respectivamente. Assim, os valores médios de P foram de 7,1 mg/dm<sup>3</sup> (P1) e 1,9 mg/dm<sup>3</sup> (P2), seguindo uma tendência decrescente em profundidade no perfil do solo, de forma a concordar com o trabalho de Leão et al. (2007) que trabalharam com um Neossolo Flúvico. Tais valores também indicaram que a primeira e a segunda camadas revelaram baixos teores de P, uma vez que seus valores ficaram abaixo do valor de fertilidade ideal (> 40 mg/dm<sup>3</sup>), preconizado por Raij et al. (1997). O teor de matéria orgânica teve distribuição tendendo a normal para MO1, concordando com Corá et al. (2004) que trabalharam com Latossolo Vermelho eutroférico, que também encontraram tendência semelhante para este atributo e indeterminado para MO2. Os valores médios para MO foram 17,9 g/dm<sup>3</sup> (MO1) e 9,6g/dm<sup>3</sup> (MO2). O pH do solo apresentou distribuição indeterminada (pH1 e pH2), porém, Corá et al. (2004) e Montezano et al. (2006) que trabalharam com Latossolos Vermelhos eutroféricos obtiveram distribuição de frequência tendendo à normal, ao passo que Manzione (2002) que trabalhou com Latossolo Vermelho distrófico encontrou distribuição normal. O pH apresentou valores médios de 5,57 (pH1) e 5,47 (pH2), indicando que o solo apresentava uma acidez média.

Para o potássio a distribuição de frequência (Quadro 2) foi indeterminada, tanto para K1 como K2, diferindo dos dados de Manzione (2002), Corá et al. (2004) e Montezano et al. (2006), que trabalharam com Latossolos Vermelhos entre distrófico e eutroférico, e encontraram distribuição normal, tendendo à normal e lognormal respectivamente. Os valores médios para o K foram de 0,89 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (K1) e 0,88 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (K2), sendo estes considerados baixos. Para os dados de acidez potencial, a distribuição foi indeterminada,

diferindo dos dados de Manzione (2002), Corá et al. (2004) e Montezano et al. (2006), que trabalharam com Latossolos Vermelhos entre distrófico e eutroférico, apresentaram dados com distribuição normal, tendendo à normal e tendendo à lognormal respectivamente. Os valores médios para a H+Al foram de 15,5 mmol/dm<sup>3</sup> (H+Al1) e 15,1 mmol/dm<sup>3</sup> (H+Al2). A soma de bases apresentou distribuição normal para SB1 e SB2, concordando com o trabalho de Manzione (2002) que trabalhou com Latossolo Vermelho distrófico, o qual também encontrou normalidade em seus dados. Os valores médios encontrados para a SB foram 24,38 mmol/dm<sup>3</sup> (SB1) e 16,07 mmol/dm<sup>3</sup> (SB2).

No Quadro 2, a capacidade de troca catiônica apresentou dados de distribuição de frequência tendendo a normal para CTC1 e normal para CTC2, estando de acordo com os dados apresentados por Manzione (2002), Silva et al. (2003a), Corá et al. (2004) e Silva et al. (2007), que trabalharam com Argissolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Vermelhos, entre distrófico e eutroférico, os quais também encontraram normalidade em seus dados. Os valores médios encontrados para a CTC foram 39,89 mmol/dm<sup>3</sup> (CTC1) e 31,31 mmol/dm<sup>3</sup> (CTC2). O índice de saturação por bases apresentou distribuição normal para V1 e indeterminado para V2, concordando com os trabalhos de Manzione (2002) e Silva et al. (2003a) que, respectivamente, trabalharam com Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho distrófico e apresentaram distribuição normal em seus dados, porém, diferenciando dos dados de Corá et al. (2004) que trabalharam com Latossolo Vermelho eutroférico e apresentaram distribuição tendendo à normal. Os valores médios de V% foram 61,2 % (V1) e 51,4% (V2), sendo considerada média. A necessidade de calagem apresentou distribuição normal para NC1, contudo, na tentativa de se buscar uma melhor resposta pela transformação dos valores originais da variável NC2 para escala logarítmica, foi conseguida uma distribuição normal de frequência para os valores logarítmicos, ficando tal fato em consonância com Freddi (2003), que trabalhou com Latossolo Vermelho distroférico e também encontrou distribuição lognormal para necessidade de calagem. Os valores médios encontrados para NC foram de 0,471 t/ha (NC1) e 0,709 (NC2) t/ha.

De acordo com os limites estabelecidos para os níveis de fertilidade do solo, para a cultura do milho para silagem no estado de São Paulo (RAIJ et al., 1997), os valores médios dos atributos químicos apresentaram-se baixos para o P e o K e médios para pH, MO e V%. Portanto, tal fato pôde também ter atestado o caso da produtividade da MSF não ter assumido maiores cifras, conforme citação de Melo et al. (1999), que trabalharam com Latossolo Vermelho-Escuro, e Mittelman et al. (2005) que trabalharam em sete Regiões do Sul do

Brasil, em virtude da baixa disponibilidade de nutrientes, com a inevitável redução da referida produtividade.

Em geral, a média dos valores dos atributos para a área estudada tenha permanecido nas faixas de fertilidade baixa e média, os valores apresentaram grande amplitude. O P1 apresentou teores que variam desde 1 até 18 mg/dm<sup>3</sup>, isto é, verificou-se que em determinados locais, os teores de P foram considerados muito baixos, em outros baixos e outros médios, o mesmo foi observado para os demais atributos.

## **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 simples entre os atributos estudados.

##### **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 AMEa x ALT ( $r = 0,532^{**}$ ), MSF x DMC ( $r = 0,336^{**}$ ) e o DMC x ALT ( $r = 0,167^{**}$ ). O par com maior correlação foi o AMEa x ALT, que apresentou maior correlação. Uma correlação prática foi dada pelo par MSF x DMC. Desta forma, quanto maior for o diâmetro do colmo da planta de milho maior será a produtividade da massa seca da forragem.

##### **4.2.1.1.2. Atributos da planta *versus* atributos químicos do solo**

As correlações entre a massa seca da forragem do milho *safrinha* (MSF) e os atributos do solo apresentaram significância apenas para os pares MSF x K1 ( $r = 0,159^{**}$ ) e MSF x K2 ( $r = 0,137^{*}$ ) (Quadro 3). Assim, tais correlações, apesar de baixas, foram altamente significativas, indicando que com aumento do teor de potássio, tanto na camada de 0,00-0,20 como na de 0,20-0,40, ocorrerá o mesmo com a MSF.

##### **4.2.1.1.3. Atributos do solo *versus* atributos do solo**

As correlações entre os atributos da composição química do solo (Quadro 3), que se destacaram sendo consideradas como muito fortes foram para os pares MO1 x SB1 ( $r = 0,994^{**}$ ), MO2 x SB2 ( $r = 0,903^{**}$ ) e a MO1 x CTC1 ( $r = 0,946^{**}$ ). Dados semelhantes foram relatados por Montezano et al. (2006), que encontraram correlações significativas entre CTC e MO (forte) e para SB e MO (moderada). Portanto, como o solo estudado é franco-



Quadro 3: Matriz de correlação entre alguns atributos do milho *safrinha* e químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico.

Atributos <sup>(a)</sup>	Coeficiente de correlação <sup>(b)</sup>										pH2	
	MSF	AMEa	ALT	DMC	P1	P2	MO1	MO2	pH1	MO2		
AMEa	-0,053 <sup>NS</sup>											
ALT	-0,049 <sup>NS</sup>	0,532 <sup>**</sup>										
DMC	0,336 <sup>**</sup>	0,075 <sup>NS</sup>	0,167 <sup>**</sup>									
P1	0,045 <sup>NS</sup>	0,186 <sup>**</sup>	0,187 <sup>**</sup>	-0,001 <sup>NS</sup>								
P2	0,041 <sup>NS</sup>	-0,183 <sup>**</sup>	-0,065 <sup>NS</sup>	-0,095 <sup>NS</sup>	0,431 <sup>**</sup>							
MO1	-0,082 <sup>NS</sup>	0,001 <sup>NS</sup>	0,082 <sup>NS</sup>	0,208 <sup>**</sup>	-0,053 <sup>NS</sup>	-0,039 <sup>NS</sup>						
MO2	-0,024 <sup>NS</sup>	0,047 <sup>NS</sup>	0,103 <sup>NS</sup>	0,015 <sup>NS</sup>	-0,183 <sup>**</sup>	-0,073 <sup>NS</sup>	0,645 <sup>**</sup>					
pH1	-0,022 <sup>NS</sup>	0,240 <sup>**</sup>	0,309 <sup>**</sup>	0,233 <sup>**</sup>	0,149 <sup>**</sup>	0,029 <sup>NS</sup>	0,173 <sup>**</sup>	0,172 <sup>**</sup>				
pH2	-0,031 <sup>NS</sup>	0,193 <sup>**</sup>	0,305 <sup>**</sup>	0,215 <sup>**</sup>	0,172 <sup>**</sup>	0,132 <sup>*</sup>	0,345 <sup>**</sup>	0,238 <sup>**</sup>	0,369 <sup>**</sup>			
K1	0,159 <sup>**</sup>	-0,020 <sup>NS</sup>	-0,146 <sup>**</sup>	0,136 <sup>*</sup>	0,112 <sup>NS</sup>	0,007 <sup>NS</sup>	-0,039 <sup>NS</sup>	0,046 <sup>NS</sup>	0,029 <sup>NS</sup>	0,172 <sup>**</sup>		
K2	0,137 <sup>*</sup>	0,185 <sup>**</sup>	0,083 <sup>NS</sup>	0,239 <sup>**</sup>	0,070 <sup>NS</sup>	-0,075 <sup>NS</sup>	-0,203 <sup>**</sup>	-0,062 <sup>NS</sup>	0,240 <sup>**</sup>	0,238 <sup>**</sup>	0,122 <sup>NS</sup>	
HAI1	-0,052 <sup>NS</sup>	-0,078 <sup>NS</sup>	-0,079 <sup>NS</sup>	-0,086 <sup>NS</sup>	-0,308 <sup>**</sup>	-0,210 <sup>**</sup>	0,509 <sup>**</sup>	0,449 <sup>**</sup>	-0,400 <sup>**</sup>	0,449 <sup>**</sup>	-0,086 <sup>NS</sup>	
HAI2	0,016 <sup>NS</sup>	-0,098 <sup>NS</sup>	-0,229 <sup>**</sup>	-0,211 <sup>**</sup>	-0,296 <sup>**</sup>	-0,222 <sup>**</sup>	-0,123 <sup>NS</sup>	0,060 <sup>NS</sup>	-0,198 <sup>**</sup>	0,060 <sup>NS</sup>	-0,833 <sup>**</sup>	
SB1	-0,067 <sup>NS</sup>	0,008 <sup>NS</sup>	0,082 <sup>NS</sup>	0,234 <sup>**</sup>	-0,032 <sup>NS</sup>	-0,039 <sup>NS</sup>	0,994 <sup>**</sup>	0,642 <sup>**</sup>	0,226 <sup>**</sup>	0,642 <sup>**</sup>	0,374 <sup>**</sup>	
SB2	-0,028 <sup>NS</sup>	0,062 <sup>NS</sup>	0,164 <sup>**</sup>	0,111 <sup>NS</sup>	-0,126 <sup>NS</sup>	-0,059 <sup>NS</sup>	0,613 <sup>**</sup>	0,903 <sup>**</sup>	0,270 <sup>**</sup>	0,903 <sup>**</sup>	0,414 <sup>**</sup>	
CTC1	-0,083 <sup>NS</sup>	-0,021 <sup>NS</sup>	0,039 <sup>NS</sup>	0,141 <sup>*</sup>	-0,164 <sup>**</sup>	-0,097 <sup>NS</sup>	0,946 <sup>**</sup>	0,665 <sup>**</sup>	0,017 <sup>NS</sup>	0,665 <sup>**</sup>	0,245 <sup>**</sup>	
CTC2	0,011 <sup>NS</sup>	-0,030 <sup>NS</sup>	-0,082 <sup>NS</sup>	-0,087 <sup>NS</sup>	-0,330 <sup>**</sup>	-0,246 <sup>**</sup>	0,344 <sup>**</sup>	0,660 <sup>**</sup>	-0,008 <sup>NS</sup>	0,660 <sup>**</sup>	-0,436 <sup>**</sup>	
V1	-0,018 <sup>NS</sup>	0,068 <sup>NS</sup>	0,149 <sup>**</sup>	0,326 <sup>**</sup>	0,253 <sup>**</sup>	0,103 <sup>NS</sup>	0,576 <sup>**</sup>	0,284 <sup>**</sup>	0,571 <sup>**</sup>	0,284 <sup>**</sup>	0,444 <sup>**</sup>	
V2	-0,028 <sup>NS</sup>	0,136 <sup>*</sup>	0,253 <sup>**</sup>	0,219 <sup>**</sup>	0,124 <sup>NS</sup>	0,159 <sup>**</sup>	0,392 <sup>**</sup>	0,456 <sup>**</sup>	0,310 <sup>**</sup>	0,456 <sup>**</sup>	0,890 <sup>**</sup>	
NC1	-0,013 <sup>NS</sup>	-0,106 <sup>NS</sup>	-0,183 <sup>**</sup>	-0,295 <sup>**</sup>	-0,241 <sup>**</sup>	-0,216 <sup>**</sup>	-0,350 <sup>**</sup>	-0,134 <sup>*</sup>	-0,616 <sup>**</sup>	-0,134 <sup>*</sup>	-0,420 <sup>**</sup>	
NC2b	0,022 <sup>NS</sup>	-0,087 <sup>NS</sup>	-0,217 <sup>**</sup>	-0,224 <sup>**</sup>	-0,203 <sup>**</sup>	-0,203 <sup>**</sup>	-0,286 <sup>**</sup>	-0,226 <sup>**</sup>	-0,272 <sup>**</sup>	-0,226 <sup>**</sup>	-0,879 <sup>**</sup>	

<sup>(a)</sup> MSF = produtividade da massa seca da forragem; AMEa = altura média da inserção da primeira espiga; ALT = altura da planta; DMC = diâmetro médio do colmo; P, MO, pH, K, HAI, SB, CTC, V e NC são respectivamente o fósforo, matéria orgânica, pH, potássio, acidez potencial (H+Al), soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, necessidade de calagem para elevação da saturação por bases a 70% (NC<sub>70</sub>). <sup>(b)</sup> \* Significativo a 5% de probabilidade, \*\*Significativo a 1% de probabilidade, NS Não significativo.

Quadro 3: Matriz de correlação entre alguns atributos do milho *safrinha* e químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico.

Continua ...

... continuação

Atributos (a)	Coeficiente de correlação (b)											
	K1	K2	HAI1	HAI2	SB1	SB2	CTC1	CTC2	V1	V2	NC1	
<b>AMEa</b>												
ALT												
DMC												
P1												
P2												
MO1												
MO2												
pH1												
pH2												
K1	0,684**											
K2	-0,136*	-0,308**										
HAI1	-0,183**	-0,213**	0,270**									
HAI2	0,042 <sup>NS</sup>	-0,133*	0,462**	-0,153**								
SB1	0,181**	0,143*	0,306**	-0,164**	0,630**							
SB2	-0,023 <sup>NS</sup>	-0,205**	0,738**	0,001 <sup>NS</sup>	0,929**	0,598**						
CTC1	-0,008 <sup>NS</sup>	-0,080 <sup>NS</sup>	0,488**	0,695**	0,332**	0,503**	0,445**					
CTC2	0,106 <sup>NS</sup>	0,117 <sup>NS</sup>	-0,323**	-0,350**	0,619**	0,380**	0,341**	-0,053 <sup>NS</sup>				
V1	0,233**	0,267**	-0,038 <sup>NS</sup>	-0,772**	0,420**	0,608**	0,319**	-0,282**	0,472**			
V2	-0,169**	-0,224**	0,601**	0,390**	-0,399**	-0,268**	-0,082 <sup>NS</sup>	0,180**	-0,872**	-0,440**		
NC1	-0,236**	-0,246**	0,168**	0,884**	-0,316**	-0,447**	-0,183**	0,477**	-0,471**	-0,935**	0,466**	
<b>NC2b</b>												

(a) MSF = produtividade da massa seca da forragem; AME = altura média da inserção da primeira espiga; ALT = altura da planta; DMC = diâmetro médio do colmo; P, MO, pH, K, HAI, SB, CTC, V e NC são respectivamente o fósforo, matéria orgânica, pH, potássio, acidez potencial (H+Al), soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, necessidade de calagem para elevação da saturação por bases a 70 % (NC<sub>70</sub>), (b) \* Significativo a 5% de probabilidade, \*\*Significativo a 1% de probabilidade, <sup>NS</sup> Não significativo.

arenoso e com baixa CTC, isto significou, que a SB está dependendo quase que exclusivamente da MO. A presença da MO está associada ao sistema plantio direto, o qual proporciona um aumento do teor de MO na camada superficial do solo. Nos locais onde os teores de MO são maiores, há um aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) e, conseqüentemente, maior armazenamento de nutrientes, sendo assim o manejo da matéria orgânica do solo é fundamental para melhorar a produtividade dos cultivos.

#### 4.2.1.2. Regressão linear simples entre os atributos estudados

No geral, as correlações lineares simples, entre as variáveis independentes do solo (P1, P2, MO1, MO2, pH1, pH2, K1, K2, HAI1, HAI2, SB1, SB2, CTC1, CTC2, V1, V2, NC1 e NC2b) com a variável dependente da planta (MSF), apresentaram baixas correlações, embora altamente significativa para K1, representada pela equação (10).

$$\text{MSF} = 1,394 \cdot 10^4 + 1,021 \cdot 10^3 \cdot \text{K1} \quad r = 0,159^{**} \quad (10)$$

onde: **MSF** é a produtividade da massa seca de forragem (kg/ha) e **K1** potássio da primeira camada do solo (mmol/dm<sup>3</sup>). Desta forma, a equação (10) revelou que com o aumento do K1 ocorreu um aumento da produtividade da massa seca de forragem de milho safrinha (MSF).

De acordo com os limites estabelecidos para os níveis de fertilidade do solo, para a cultura do milho para silagem no estado de São Paulo, o valor médio de K1 apresentou-se baixo (RAIJ et al., 1997). Quando o teor de K1 for muito baixo ou baixo haverá limitação na produção, portanto, para garantir boa produtividade, o K1 deve ser elevado para a faixa de fertilidade média ou alta. O potássio tem que ser elevado a valores maiores que 6 mmol/dm<sup>3</sup> para que a produtividade da MSF possa chegar a valores acima de 20 t/ha, fato relativamente difícil para o solo pesquisado, uma vez que sua textura é franco-arenosa.

### 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 4 estão contidos os parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos da produtividade do milho *safrinha* e dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico. Já nas Figuras 3-6 estão representados os referidos semivariogramas simples, com exceção dos atributos P1 e r\_MO1, que apresentaram efeito pepita puro. Para o atributo P foram observados resultados semelhantes por Manzione (2002) e Weirich Neto et al. (2005) que trabalharam, respectivamente, com Latossolo Vermelho

Quadro 4: Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos do milho *safrinha* e químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico.

Atributo <sup>(a)</sup>	Modelo <sup>(b)</sup>	Efeito Pepita (C <sub>0</sub> )	Patamar (C <sub>0</sub> +C)	Variância Estrutural (C)	Alcance (m) (A <sub>0</sub> )	r <sup>2</sup>	SQR <sup>(c)</sup>	ADE <sup>(d)</sup>	Classe de dependência espacial	
										Parâmetros
<i>γ(h) simples dos atributos da planta</i>										
MSF (kg/ha)	exp	1,250.10 <sup>6</sup>	4,715.10 <sup>6</sup>	3,465.10 <sup>6</sup>	12,0	0,770	1,667.10 <sup>12</sup>	73,5	moderada	
AMEa (m) <sup>(e)</sup>	gau	1,580.10 <sup>-4</sup>	4,620.10 <sup>-4</sup>	3,040.10 <sup>-4</sup>	28,0	0,789	3,541.10 <sup>-8</sup>	65,8	moderada	
ALT (m)	gau	1,550.10 <sup>-3</sup>	9,000.10 <sup>-3</sup>	7,450.10 <sup>-3</sup>	24,0	0,824	1,477.10 <sup>-5</sup>	82,8	elevada	
DMC (cm)	exp	2,010.10 <sup>-3</sup>	1,282.10 <sup>-2</sup>	1,081.10 <sup>-2</sup>	8,6	0,534	3,460.10 <sup>-5</sup>	84,3	elevada	
<i>γ(h) simples dos atributos do solo</i>										
P1 (mg/dm <sup>3</sup> )	epp	1,208.10 <sup>1</sup>	1,208.10 <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-	
P2 (mg/dm <sup>3</sup> )	exp	2,420.10 <sup>-1</sup>	9,680.10 <sup>-1</sup>	7,260.10 <sup>-1</sup>	7,6	0,753	4,570.10 <sup>-2</sup>	75,0	elevada	
r_MO1 (g/dm <sup>3</sup> ) <sup>(e)</sup>	epp	9,600	9,600	-	-	-	-	-	-	
MO2 (g/dm <sup>3</sup> )	esf	1,315	4,379	3,064	10,7	0,853	1,070	70,0	moderada	
r_pH1 (CaCl <sub>2</sub> ) <sup>(e)</sup>	exp	7,590.10 <sup>-3</sup>	2,908.10 <sup>-2</sup>	2,149.10 <sup>-2</sup>	8,5	0,726	8,690.10 <sup>-5</sup>	73,9	moderada	
r_pH2 (CaCl <sub>2</sub> ) <sup>(e)</sup>	exp	5,510.10 <sup>-2</sup>	1,452.10 <sup>-1</sup>	9,010.10 <sup>-2</sup>	21,5	0,788	1,894.10 <sup>-3</sup>	62,1	moderada	
r_K1 (mmole/dm <sup>3</sup> ) <sup>(e)</sup>	exp	2,940.10 <sup>-2</sup>	1,098.10 <sup>-1</sup>	8,040.10 <sup>-2</sup>	7,6	0,695	7,003.10 <sup>-4</sup>	73,2	moderada	
r_K2 (mmole/dm <sup>3</sup> ) <sup>(e)</sup>	esf	5,050.10 <sup>-2</sup>	1,690.10 <sup>-1</sup>	1,185.10 <sup>-1</sup>	25,8	0,854	3,002.10 <sup>-3</sup>	70,1	moderada	
HAl1 (mmole/dm <sup>3</sup> )	esf	2,130	6,253	4,123	42,0	0,975	4,870.10 <sup>-1</sup>	65,9	moderada	
HAl2 (mmole/dm <sup>3</sup> )	exp	1,610	9,645	8,035	21,3	0,951	2,470	83,3	elevada	
r_SB1 (mmole/dm <sup>3</sup> ) <sup>(e)</sup>	exp	1,700	7,550	5,850	14,7	0,825	3,250	77,5	elevada	
SB2 (mmole/dm <sup>3</sup> )	gau	2,180	5,699	3,519	13,2	0,722	3,270	61,2	moderada	
r_CTC1 (mmole/dm <sup>3</sup> ) <sup>(e)</sup>	esf	9,900	7,216.10 <sup>1</sup>	6,226.10 <sup>1</sup>	26,7	0,794	9,890.10 <sup>2</sup>	86,3	elevada	
CTC2 (mmole/dm <sup>3</sup> )	esf	4,330	1,389.10 <sup>1</sup>	9,560	19,4	0,877	1,970.10 <sup>1</sup>	68,8	moderada	
V1 (%)	esf	6,430	1,596.10 <sup>1</sup>	9,530	16,7	0,941	2,230	59,7	moderada	
V2 (%)	esf	1,250.10 <sup>1</sup>	4,616.10 <sup>1</sup>	3,366.10 <sup>1</sup>	8,1	0,773	2,510.10 <sup>2</sup>	72,9	moderada	
NC1 (t/ha)	exp	2,001.10 <sup>-2</sup>	4,012.10 <sup>-2</sup>	2,011.10 <sup>-2</sup>	25,3	0,828	6,095.10 <sup>-5</sup>	50,1	moderada	
NC2b (t/ha) <sup>(e)</sup>	exp	3,180.10 <sup>-3</sup>	3,146.10 <sup>-2</sup>	2,828.10 <sup>-2</sup>	9,0	0,895	6,032.10 <sup>-5</sup>	89,9	elevada	

<sup>(a)</sup> MSF = produtividade de massa seca da forragem; AME = altura média de inserção da primeira espiga; ALT = altura da planta; DMC = diâmetro do colmo; P, MO, pH, K, HAl, SB, CTC, V, NC são respectivamente o fósforo, teor de matéria orgânica, pH, potássio, acidez potencial (H+Al), soma de bases, capacidade de troca catiônica, índice de saturação por bases, elevação do índice de saturação por bases a 70 % (NC<sub>70</sub>) em profundidade no solo; <sup>(b)</sup> esf=esférico, exp=exponencial, gau=gaussiano, epp=efeito pepita puro; <sup>(c)</sup> SQR=soma dos quadrados dos resíduos; <sup>(d)</sup> ADE=avaliador da dependência espacial, e <sup>(e)</sup> 1<sup>o</sup> atributos sucedidos das letras a e b foram representados pelos valores dos logaritmos decimais respectivamente divididos por 1 e 10, e 2<sup>o</sup> atributos anteceditos da letra r foram representados pelos respectivos resíduos.

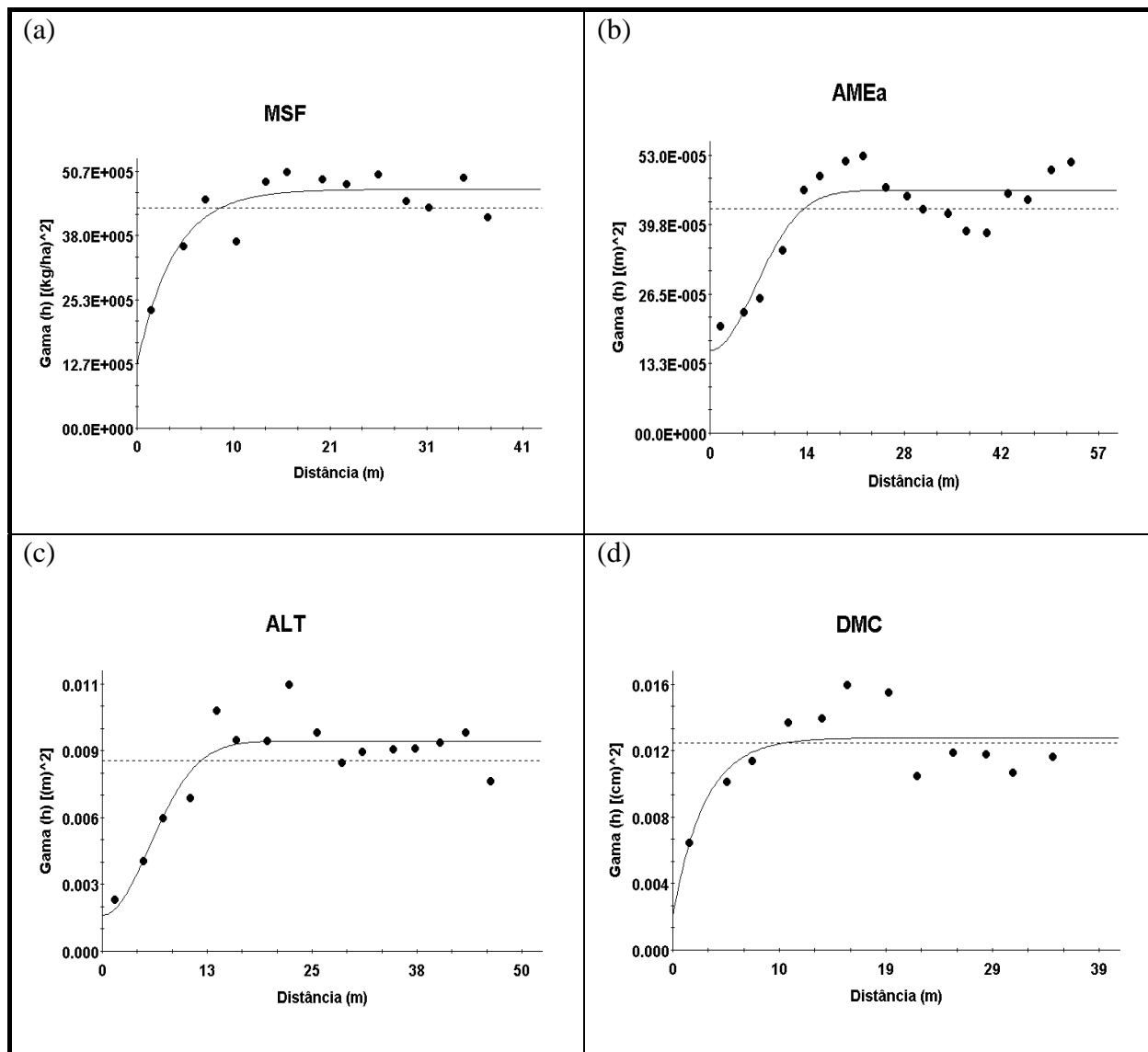


Figura 3. Semivariogramas simples dos atributos (MSF, AMEa, ALT e DMC) do milho *safrinha* sob um Latossolo Vermelho Distrófico.

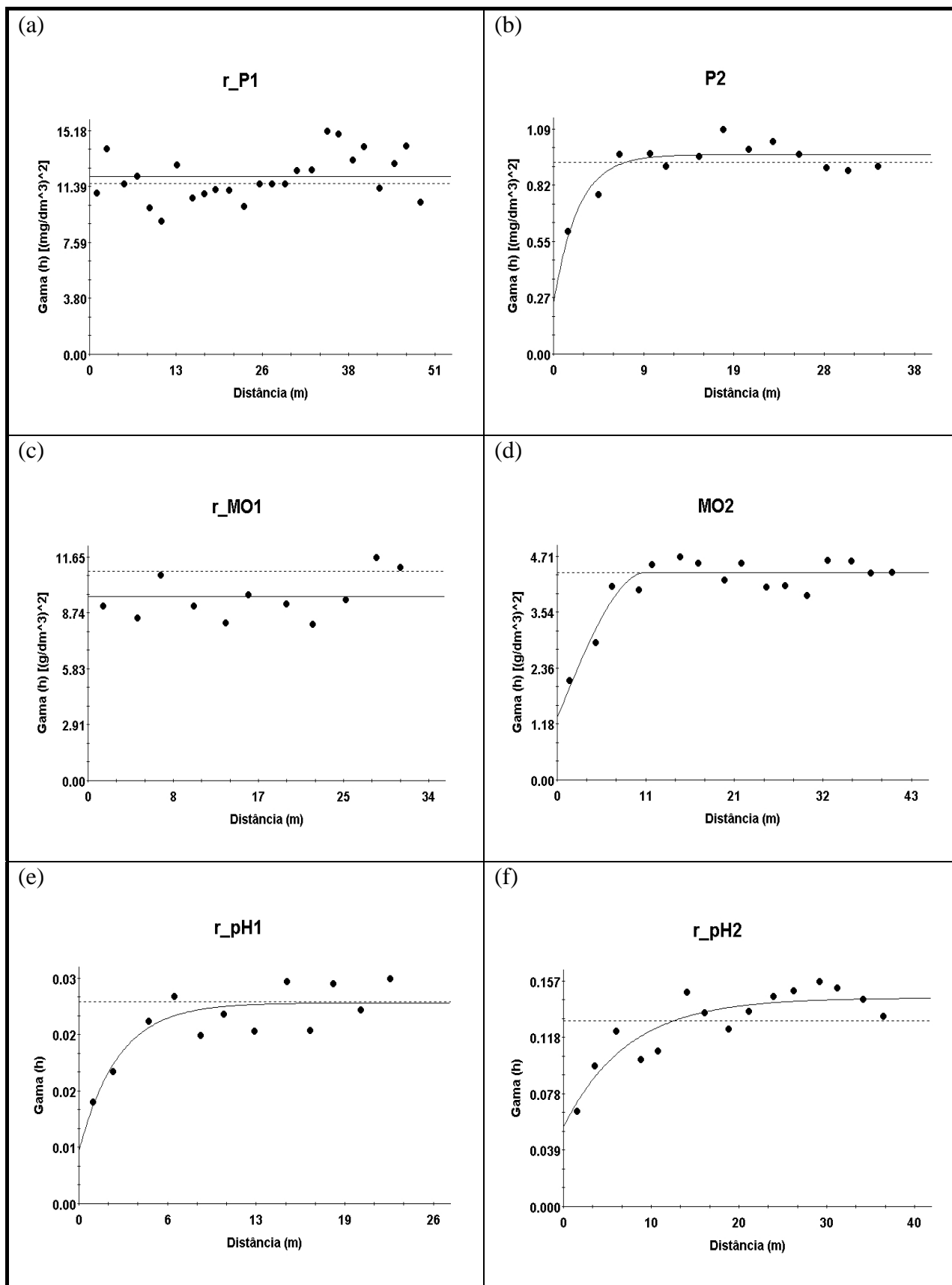


Figura 4. Semivariogramas simples dos atributos químicos (P1, P2, MO1, MO2, pH1,pH2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.

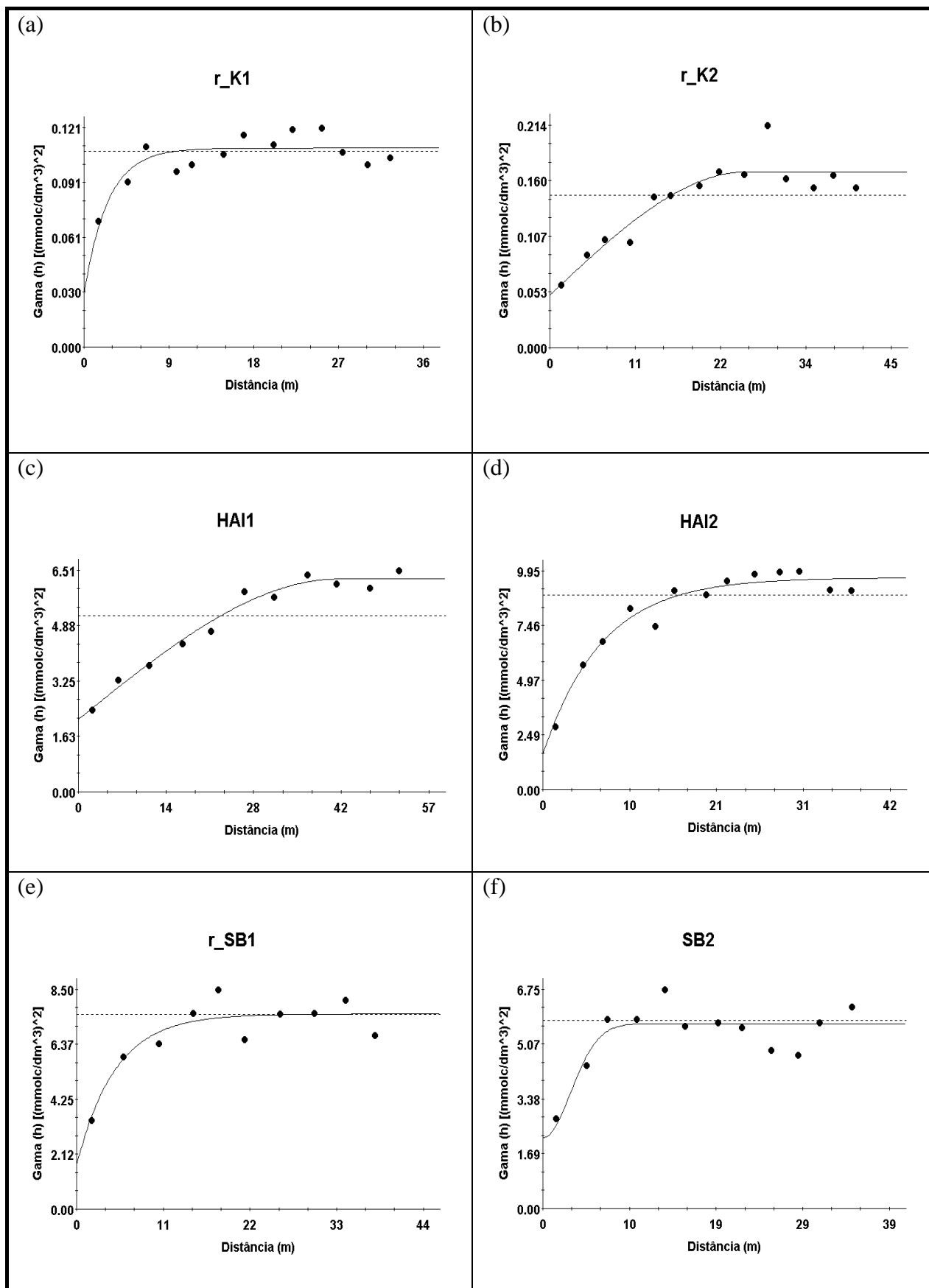


Figura 5. Semivariogramas simples dos atributos químicos (K1, K2, HA11, HA12, SB1, SB2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.

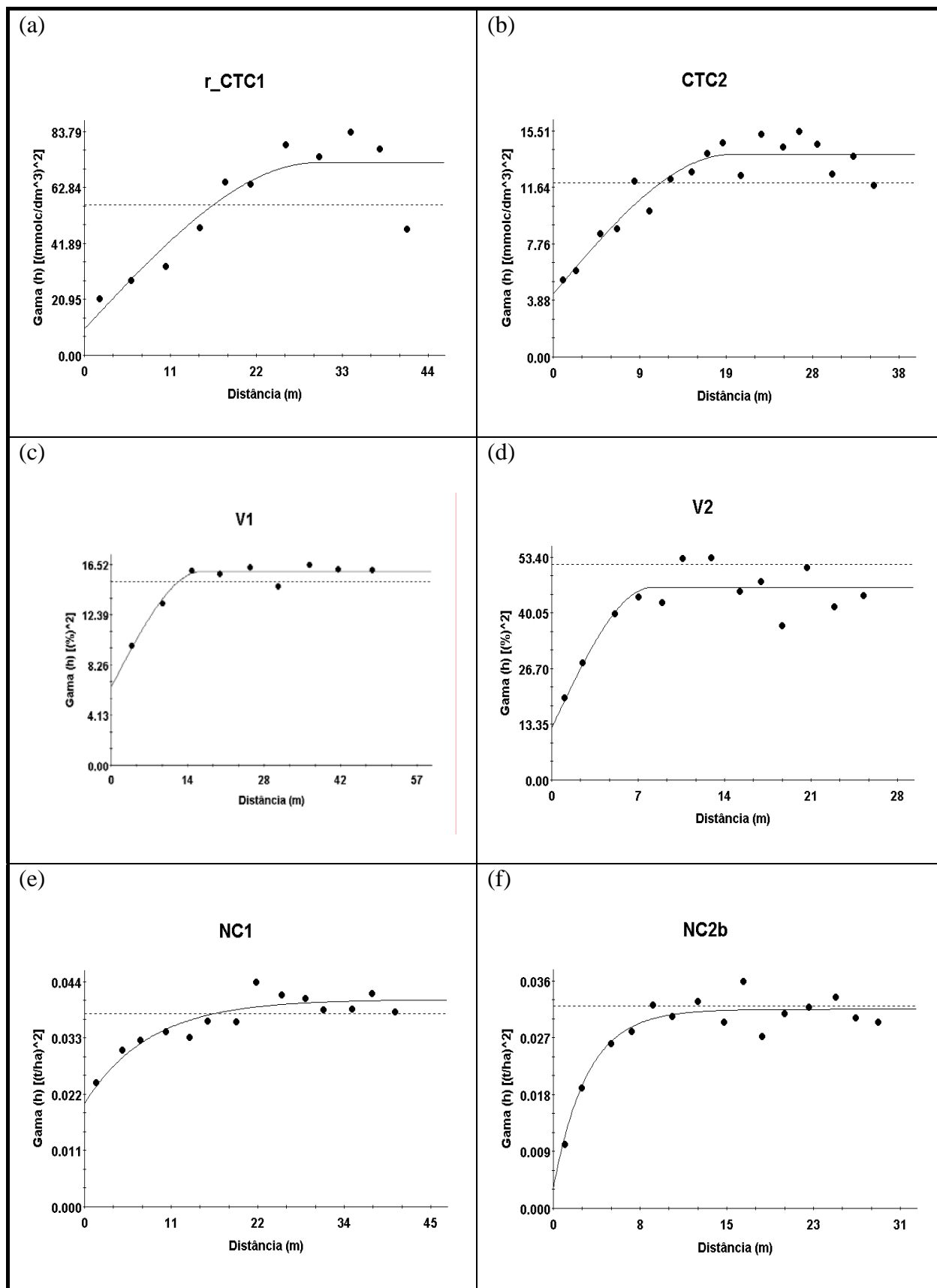


Figura 6. Semivariogramas simples dos atributos químicos (CTC1, CTC2, V1, V2, NC1, NC2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.



distrófico e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e detectaram efeito pepita puro para o fósforo.

A análise dos parâmetros semivariográficos (Quadro 4) 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 o maior valor para o coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,824$ ) e o segundo maior valor em relação ao avaliador da dependência espacial (ADE = 82,8%). Desta forma, a MSF ocupou a terceira posição; b) *atributos químicos*: o HA11 e o HA12, foram, respectivamente, os que apresentaram semivariogramas com melhor ajustes, respectivamente, com os  $r^2$  de 0,975 e 0,951, assim como, com os respectivos ADEs de 65,9 e 83,3%. Com exceção dos atributos P1 e r\_MO1, que apresentaram efeito pepita puro, os demais evidenciaram que sua distribuição no espaço não foram aleatórias. A produtividade de massa seca de forragem do milho *safrinha* (MSF) revelou que 73,5% da sua variação total foram explicados pela dependência espacial. Por outro lado, o equivalente efeito pepita, representante do erro ao acaso, foi de 26,5%. De forma semelhante, foram de 65,9 e 34,1% para HA11, assim como, de 83,3 e 16,7% para a HA12.

Observou-se, para os atributos estudados, que os modelos ajustados (Quadro 4 e Figuras 3-6) foram o exponencial (MSF, DMC, P2, r\_pH1, r\_pH2, r\_K1, HA12, r\_SB1, NC1 e NC2b), gaussiano (AMEa, ALT e SB2) e o esférico (MO2, r\_K2, HA11, r\_CTC1, CTC2, V1 e V2). Por outro lado, os alcances da dependência espacial, observados para MSF, AMEa, ALT e DMC, apresentaram, respectivamente, os valores de 12,0; 28,0; 24,0 e 8,6 m. Para os atributos químicos do solo, variaram entre 7,6 m (P2 e r\_K1) e 42,0 m (HA11). Por meio do semivariograma obteve-se o alcance que é de fundamental importância para a agricultura de precisão. Uma das principais utilizações dos alcances são: a determinação do número ideal de amostras e no planejamento de adequadas malhas de amostragem para a estimação dos atributos químicos do solo.

#### **4.3.1.2. Validação cruzada dos semivariogramas simples dos atributos estudados**

No Quadro 5 estão contidos os parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens simples de alguns atributos da produtividade do milho *safrinha* e de atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico. Já nas Figuras 7-11 estão representadas as referidas validações cruzadas.

Quadro 5: Parâmetros das validações cruzadas de alguns atributos do milho *safrinha* e químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico.

Atributo <sup>(a)</sup>	Erro padrão		Coeficiente de correlação (r)	VO = a + b . VE <sup>(b)</sup>	
	observado	estimado		a	b
<i>γ(h) simples dos atributos da planta</i>					
MSF (kg/ha)	0,147	1802	0,504	1,647.10 <sup>3</sup>	8,940.10 <sup>-1</sup>
AMEa (m) <sup>(c)</sup>	0,099	0,015	0,679	5,000.10 <sup>-4</sup>	9,970.10 <sup>-1</sup>
ALT (m)	0,077	0,059	0,761	7,460.10 <sup>-2</sup>	9,720.10 <sup>-1</sup>
DMC (cm)	0,145	0,096	0,514	2,694.10 <sup>-1</sup>	8,920.10 <sup>-1</sup>
<i>γ(h) simples dos atributos do solo</i>					
P1 (mg/dm <sup>3</sup> )	-	-	-	-	-
P2 (mg/dm <sup>3</sup> )	0,133	0,797	0,563	-2,100.10 <sup>-2</sup>	1,002
r_MO1 (g/dm <sup>3</sup> ) <sup>(c)</sup>	-	-	-	-	-
MO2 (g/dm <sup>3</sup> )	0,117	1,638	0,622	-5,800.10 <sup>-2</sup>	9,990.10 <sup>-1</sup>
r_pH1 (CaCl <sub>2</sub> ) <sup>(c)</sup>	0,273	0,171	0,040	1,120.10 <sup>-2</sup>	1,350.10 <sup>-1</sup>
r_pH2 (CaCl <sub>2</sub> ) <sup>(c)</sup>	0,225	0,332	0,382	-1,500.10 <sup>-3</sup>	9,990.10 <sup>-1</sup>
r_K1 (mmolc/dm <sup>3</sup> ) <sup>(c)</sup>	0,225	0,312	0,318	2,400.10 <sup>-2</sup>	7,720.10 <sup>-1</sup>
r_K2 (mmolc/dm <sup>3</sup> ) <sup>(c)</sup>	0,123	0,311	0,582	-4,400.10 <sup>-3</sup>	9,150.10 <sup>-1</sup>
HAl1 (mmolc/dm <sup>3</sup> )	0,116	1,776	0,625	-3,750.10 <sup>-1</sup>	1,025
HAl2 (mmolc/dm <sup>3</sup> )	0,093	2,096	0,709	-2,550.10 <sup>-1</sup>	1,017
r_SB1 (mmolc/dm <sup>3</sup> ) <sup>(c)</sup>	0,136	2,272	0,560	1,190.10 <sup>-2</sup>	9,430.10 <sup>-1</sup>
SB2 (mmolc/dm <sup>3</sup> )	0,119	1,895	0,617	-4,060.10 <sup>-2</sup>	9,990.10 <sup>-1</sup>
r_CTC1(mmolc/dm <sup>3</sup> ) <sup>(c)</sup>	0,082	4,970	0,749	1,088.10 <sup>-1</sup>	9,960.10 <sup>-1</sup>
CTC2 (mmolc/dm <sup>3</sup> )	0,128	2,810	0,583	4,080.10 <sup>-1</sup>	9,800.10 <sup>-1</sup>
V1 (%)	0,132	3,223	0,560	2,185	9.630.10 <sup>-1</sup>
V2 (%)	0,104	5,412	0,658	-3,770.10 <sup>-1</sup>	1,002
NC1 (t/ha)	0,170	0,170	0,474	5,300.10 <sup>-3</sup>	1,001
NC2b (t/ha) <sup>(c)</sup>	0,103	0,133	0,667	2,300.10 <sup>-3</sup>	1,004

<sup>(a)</sup> MSF = produtividade de massa seca da forragem; AME = altura média de inserção da primeira espiga; ALT = altura da planta; DMC = diâmetro do colmo; P, MO, pH, K, HAl, SB, CTC, V, NC são respectivamente o fósforo, teor de matéria orgânica, pH, potássio, acidez potencial (H+Al), soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, necessidade de calagem para elevação da saturação por bases a 70 % (NC<sub>70</sub>) em profundidade no solo; <sup>(b)</sup> VO = valor observado e VE = valor estimado, e <sup>(c)</sup> 1<sup>o</sup> atributos sucedidos das letras *a* e *b* foram representados pelos valores dos logaritmos decimais respectivamente divididos por 1 e 10, e 2<sup>o</sup> atributos antecedidos da letra *r* foram representados pelos respectivos resíduos.

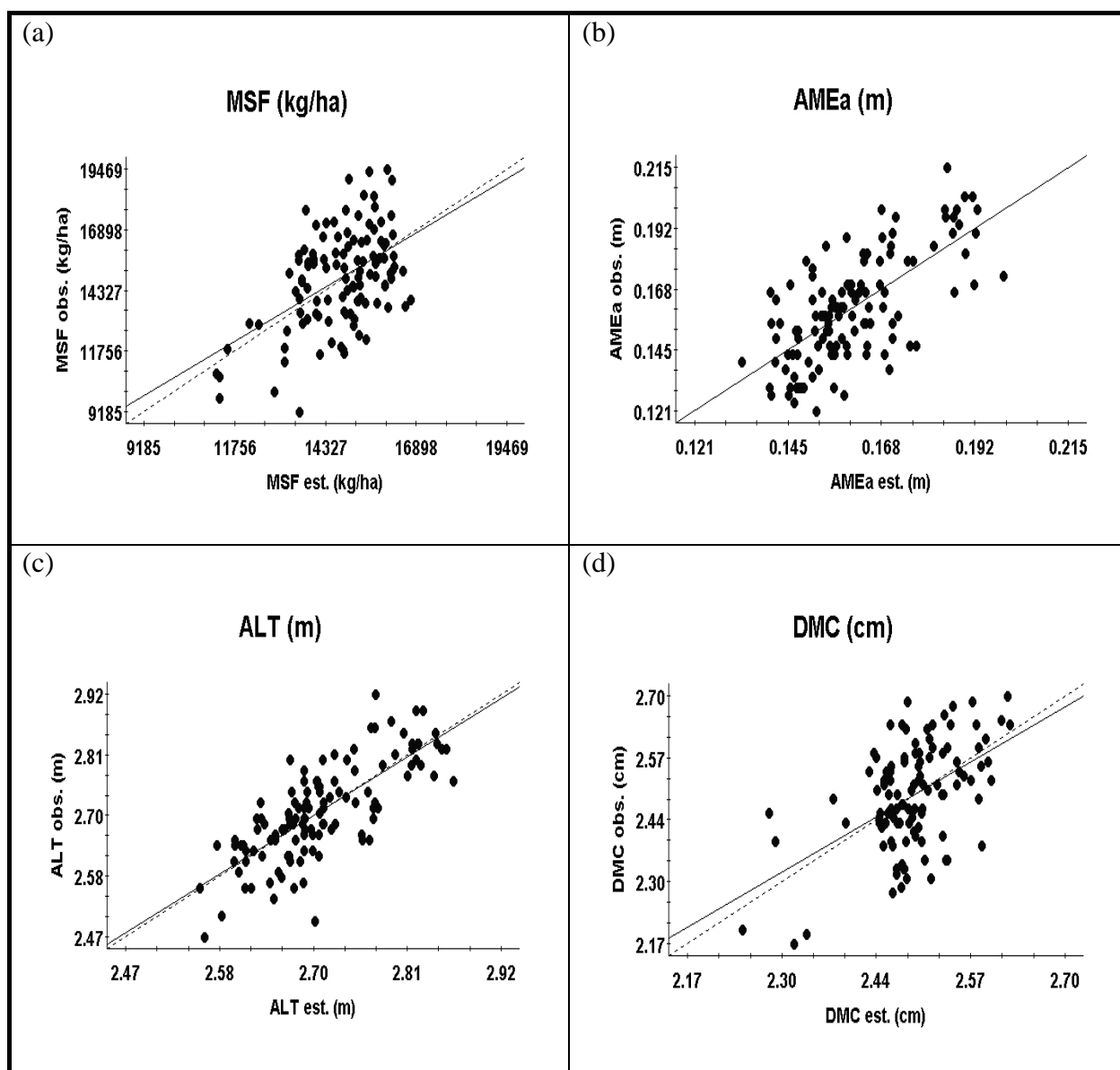


Figura 7. Validação cruzada dos atributos do milho *safrinha* produzida num Latossolo Vermelho Distrófico.

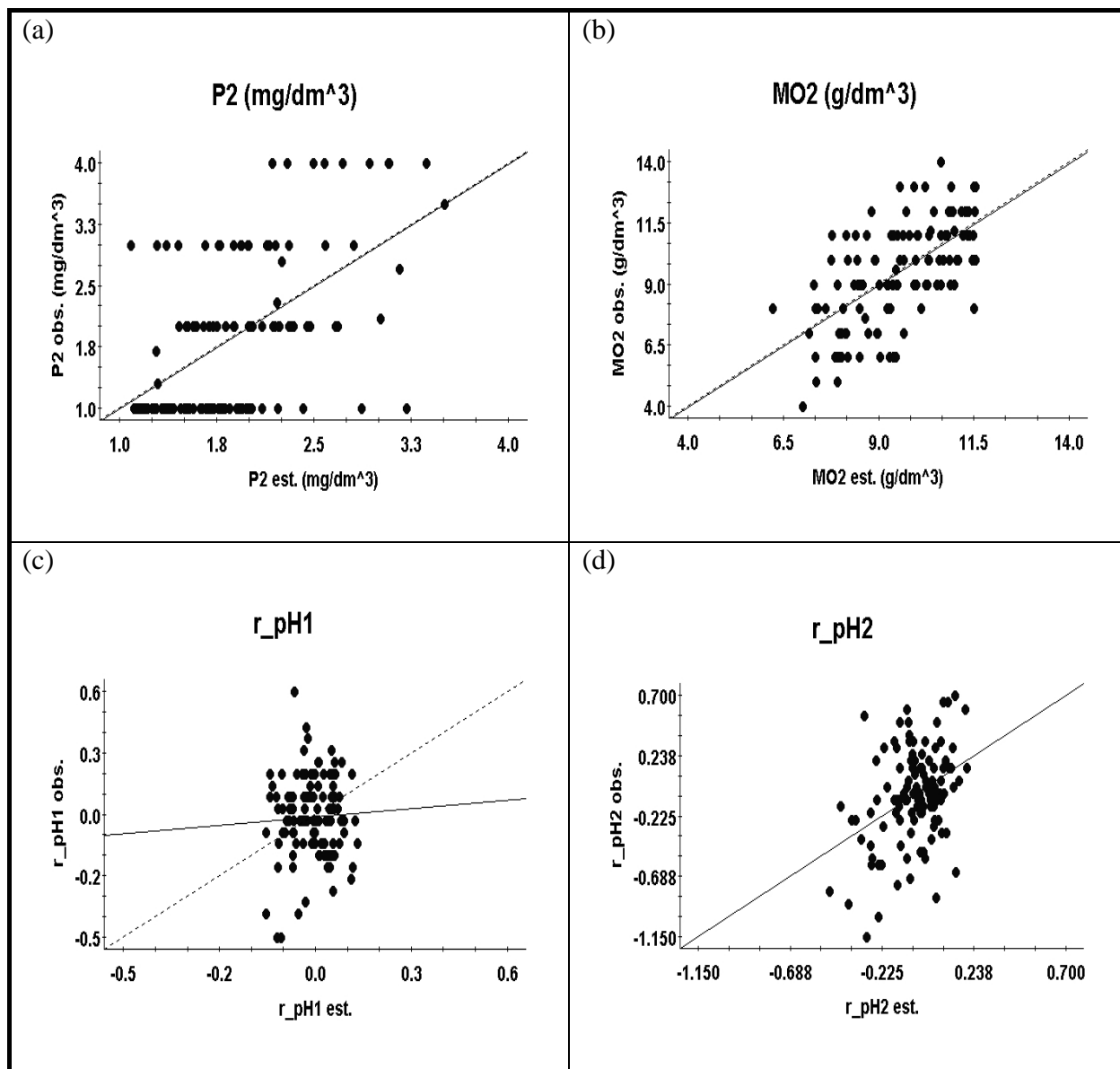


Figura 8. Validação cruzada dos atributos químicos (P2, MO2, pH1 e pH2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.

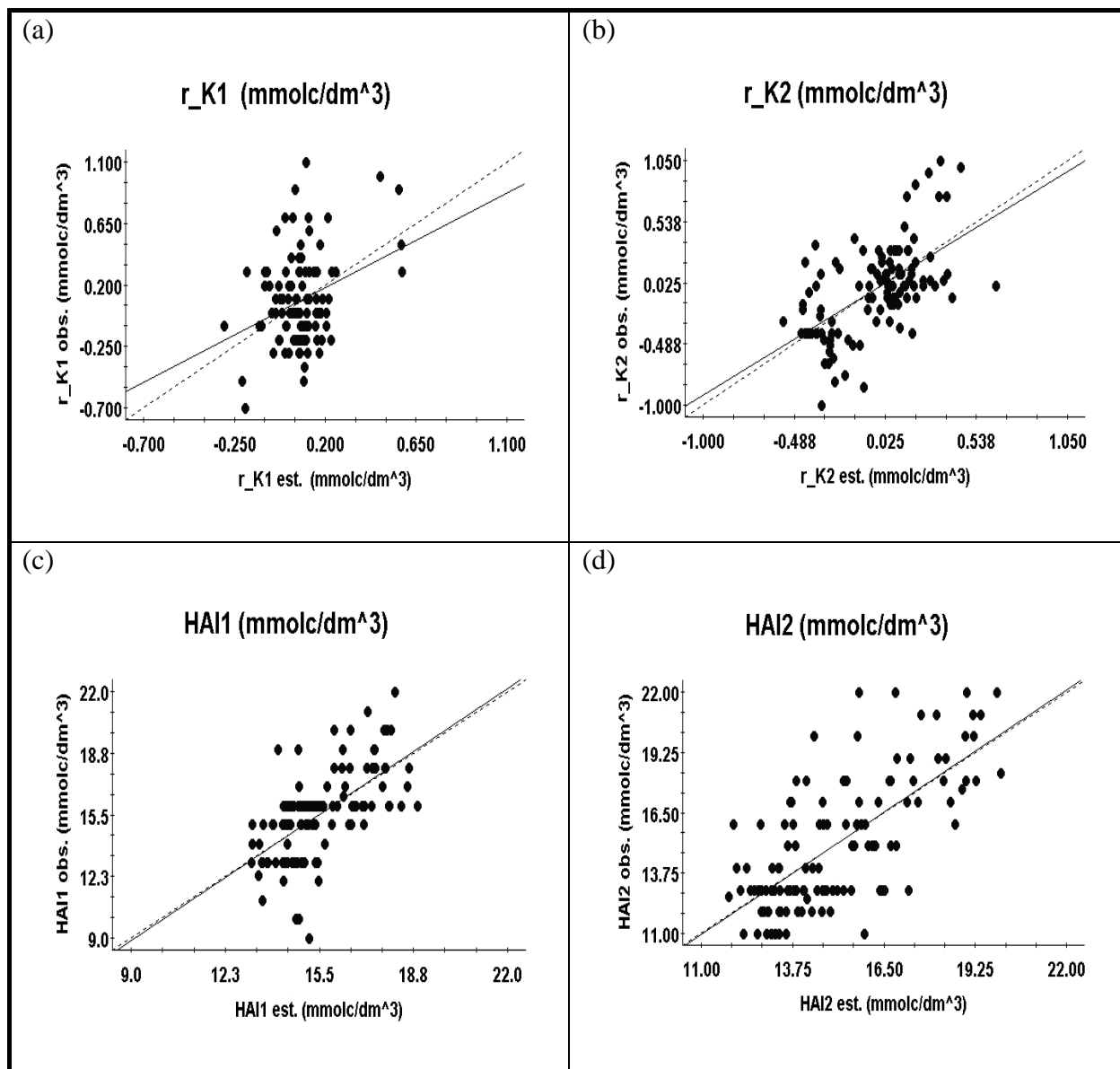


Figura 9. Validação cruzada dos atributos químicos (K1, K2, HAI1 e HAI2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.

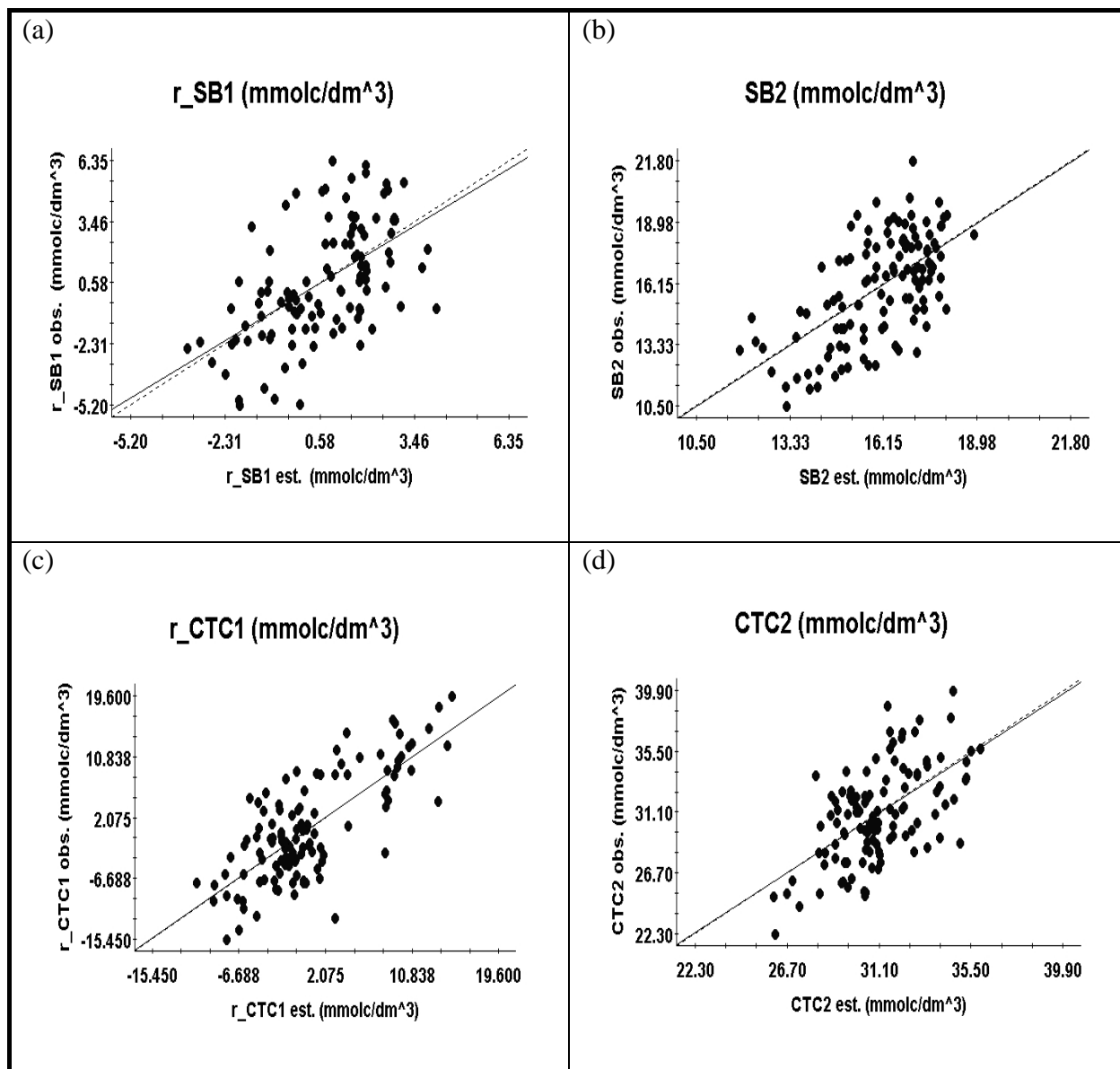


Figura 10. Validação cruzada dos atributos químicos (SB1, SB2, CTC1 e CTC2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.

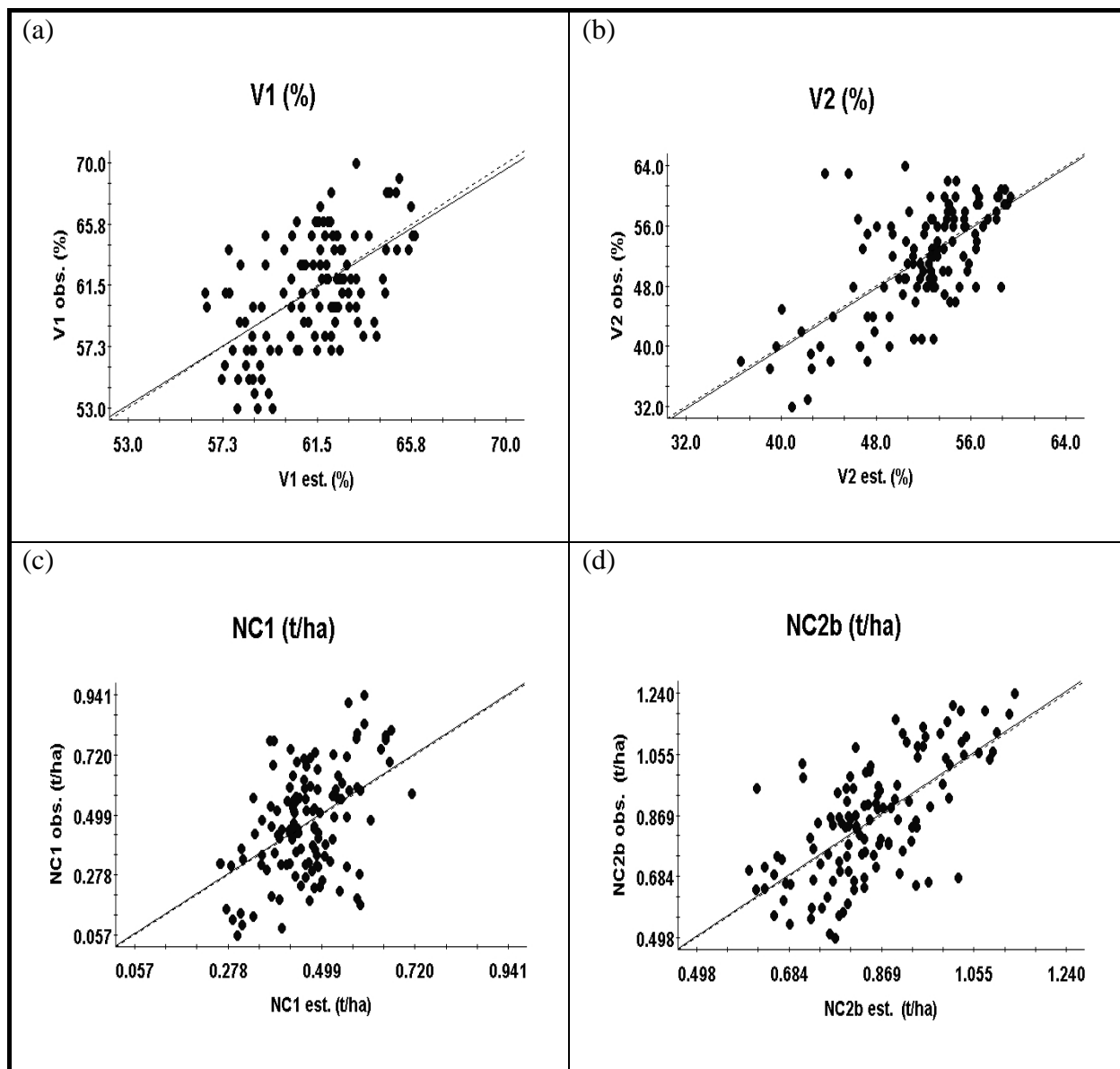


Figura 11. Validação cruzada dos atributos químicos (V1, V2, NC1 e NC2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.

Os dados mostraram (Quadro 5 e Figuras 7-10) que os atributos da planta apresentaram bom desempenho do coeficiente de correlação ( $r$ ), entre os valores observados e estimados da validação cruzada, variando entre 0,504 (MSF) e 0,761 (ALT), com apreciáveis coeficientes angulares  $b$ , (0,894 para o MSF e de 0,997 para a AMEa). Tal fato ficou relativamente conforme o preconizado pelo GS<sup>+</sup> (2004), que mencionou, para o modelo ideal de semivariograma, um ajuste da validação cruzada (observado e estimado) com um coeficiente linear ( $a$ ) tendendo a zero, assim como o angular ( $b$ ) e o coeficiente de correlação ( $r$ ) tendendo a um. Os atributos do solo apresentaram satisfatórios desempenhos, seus coeficientes de correlação variaram entre 0,040 ( $r_{pH1}$ ) e 0,749 ( $r_{CTC1}$ ), com coeficientes angulares ( $b$ ) entre 0,135 ( $r_{pH1}$ ) e 1,025 (HA11).

#### 4.3.1.3. Mapas de krigagem dos atributos estudados

Nas Figuras 12-16 estão contidos os mapas de krigagens simples dos atributos da produtividade do milho *safrinha* e dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico. A produtividade de massa seca da forragem do milho constituiu-se no atributo da planta de maior importância prática. Assim, apresentou seus mínimos valores (11663 - 14468 kg/ha) nas regiões noroeste, sudoeste e sudeste, enquanto que os máximos (14468 - 17272 kg/ha) nas regiões norte, nordeste e centro-sul (Figura 12a). Dessa forma, foi notada semelhança espacial entre os valores da MSF com os valores dos atributos do solo MO2,  $r_{K2}$ , HA11, HA12,  $r_{CTC1}$  e CTC2. A semelhança espacial entre MSF x MO2 foi direta, com os mínimos valores da MO2 (6,2 - 8,9 g/dm<sup>3</sup>) nas regiões noroeste, sudoeste e sudeste, enquanto que os máximos valores do MO2 (8,9 - 11,7 g/dm<sup>3</sup>) nas regiões norte, nordeste e centro-sul. Com relação à semelhança espacial entre MSF x  $r_{K2}$ , ela também se apresentou de forma direta, com os mínimos valores (0,20 - 1,14 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) nas regiões noroeste, sudoeste e sudeste, enquanto que os máximos valores (1,14 - 2,09 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) nas regiões norte, nordeste e centro-sul. A semelhança espacial entre MSF x HA11 e HA12, apresentou de forma direta, os mínimos valores foram de 13,64 - 16,13 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (HA11) e 12,71 - 16,21 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (HA12) nas regiões noroeste, sudoeste e sudeste, enquanto que os máximos valores 16,13 - 18,61 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (HA11) e 16,21 - 19,70 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (HA12) nas regiões norte, nordeste e centro-sul. Com relação à semelhança espacial entre MSF x  $r_{CTC1}$  e CTC2, também foi direta, com os mínimos valores de 25,20 - 37,93 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> ( $r_{CTC1}$ ) e 25,89 - 30,23 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (CTC2) nas regiões noroeste, sudoeste e sudeste, enquanto que os máximos valores 37,93 - 50,66 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> ( $r_{CTC1}$ ) e 30,23 - 34,57 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (CTC2) nas regiões norte, nordeste e centro-sul. Os mapas de krigagem mostraram-se como uma



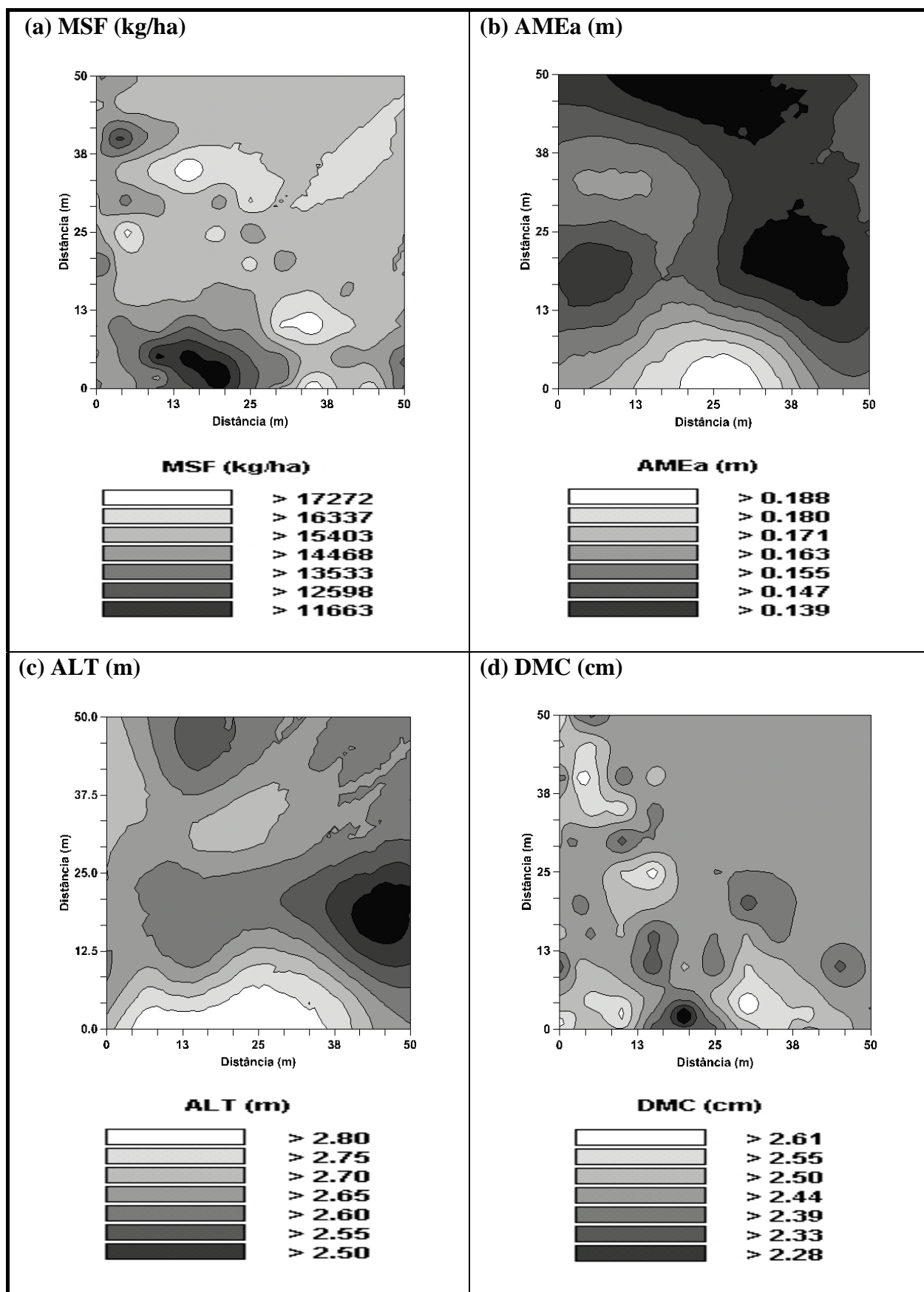


Figura 12. Mapas de krigagens simples dos atributos do milho *safrinha* produzida num Latossolo Vermelho Distrófico.

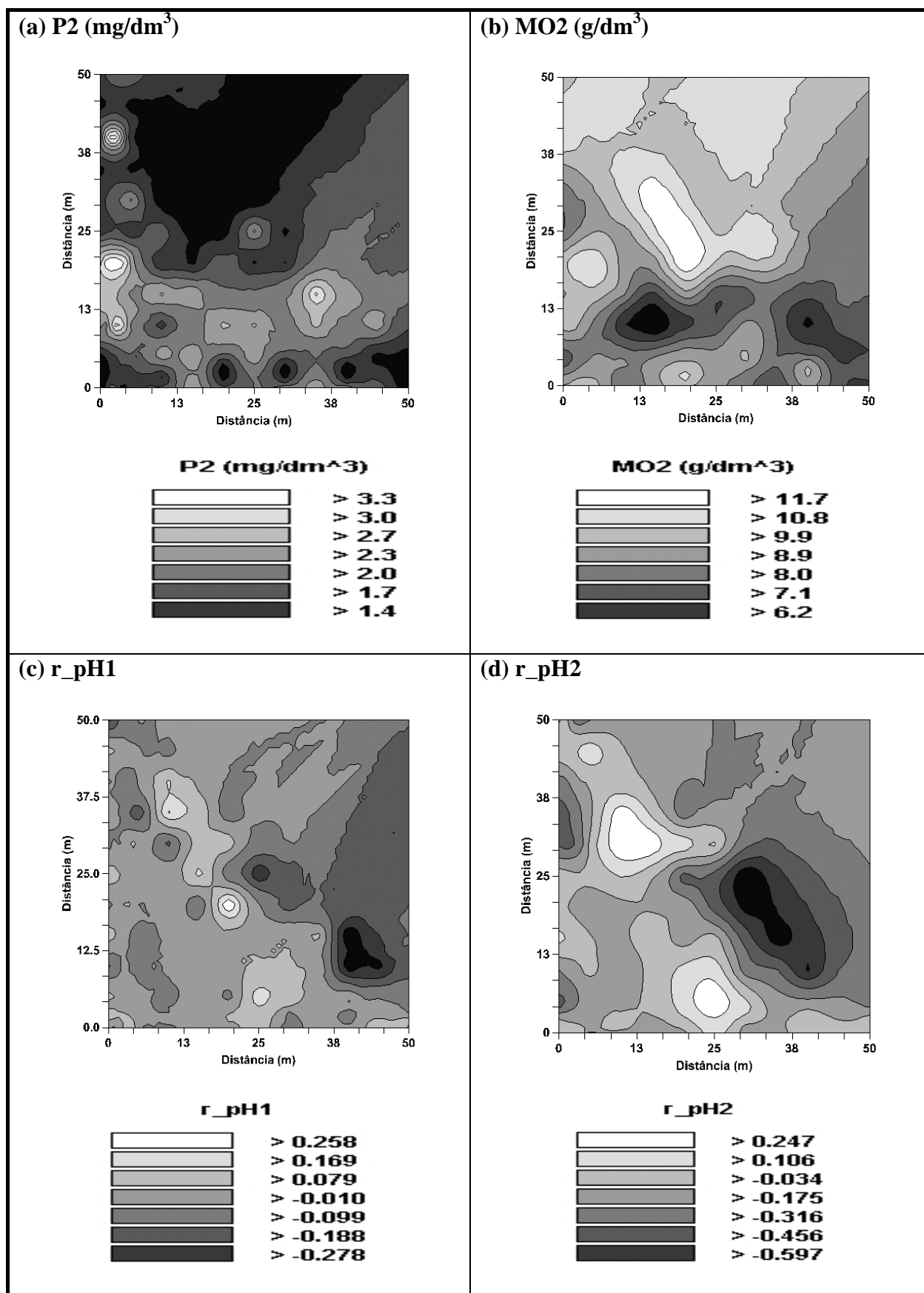


Figura 13. Mapas de krigagens simples dos atributos químicos (P2, MO2, pH1 e pH2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.

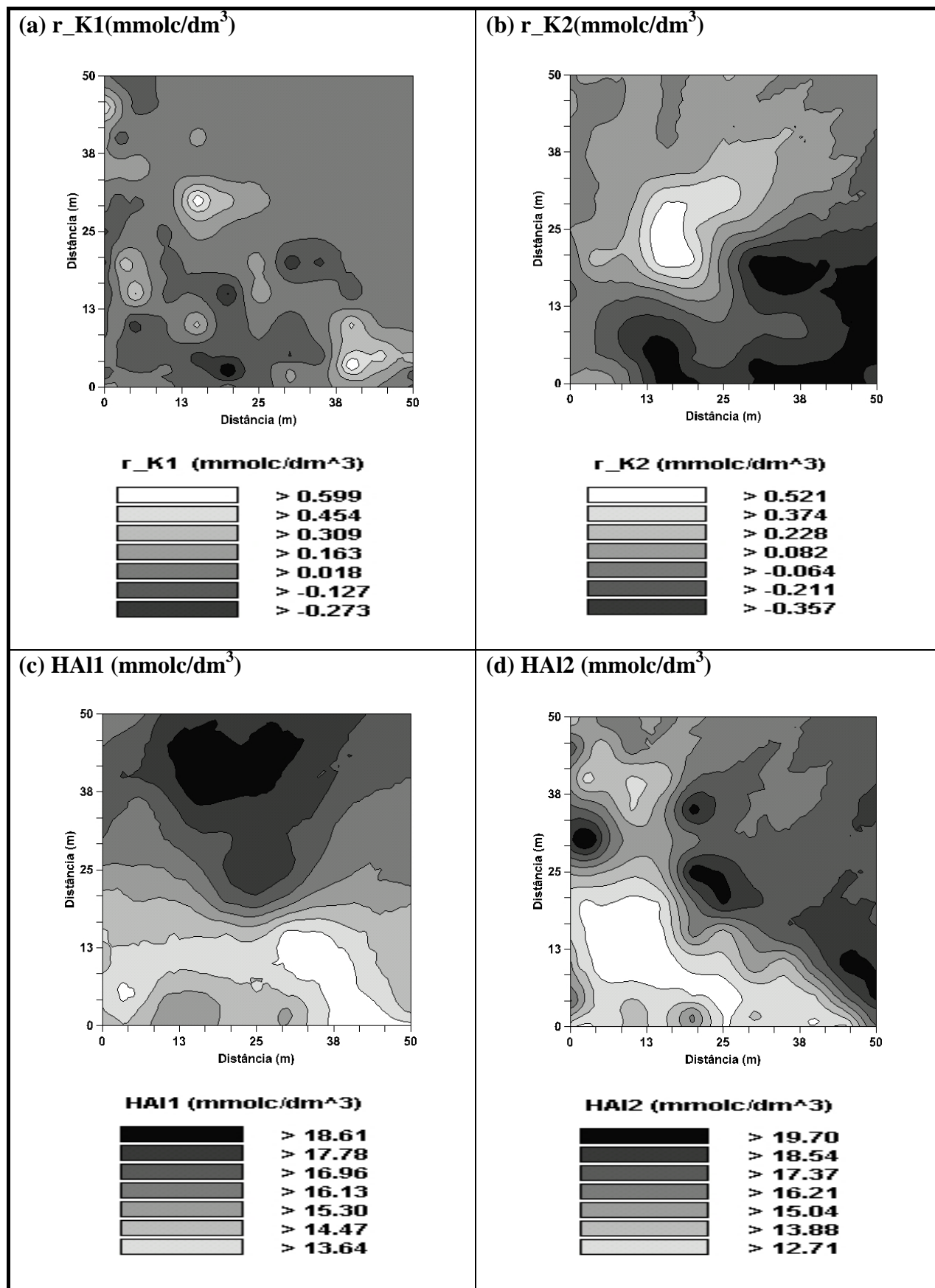


Figura 14. Mapas de krigagens simples dos atributos químicos (K1, K2, HAI1 e HAI2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.

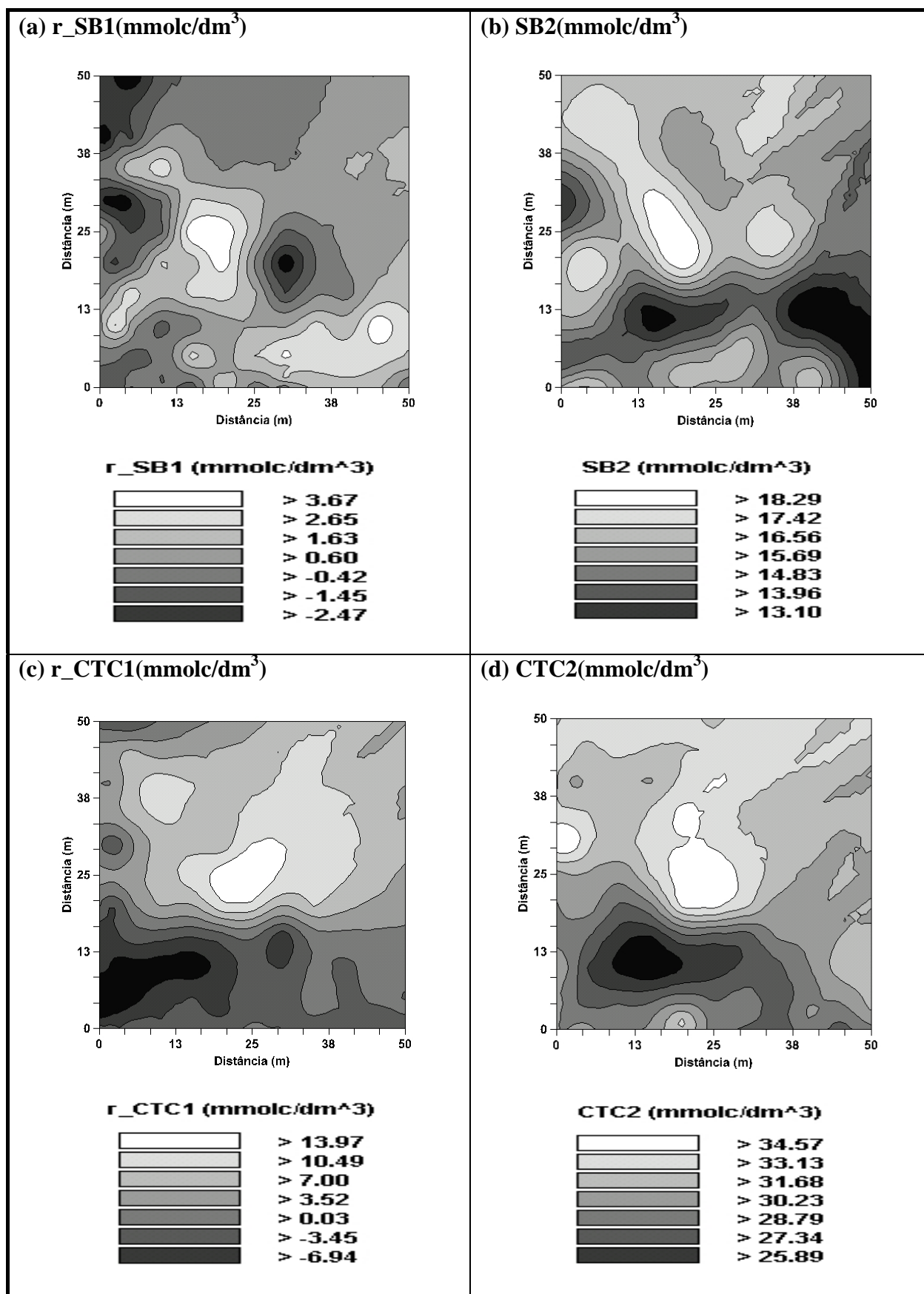


Figura 15. Mapas de krigagens simples dos atributos químicos (SB1, SB2, CTC1 e CTC2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.

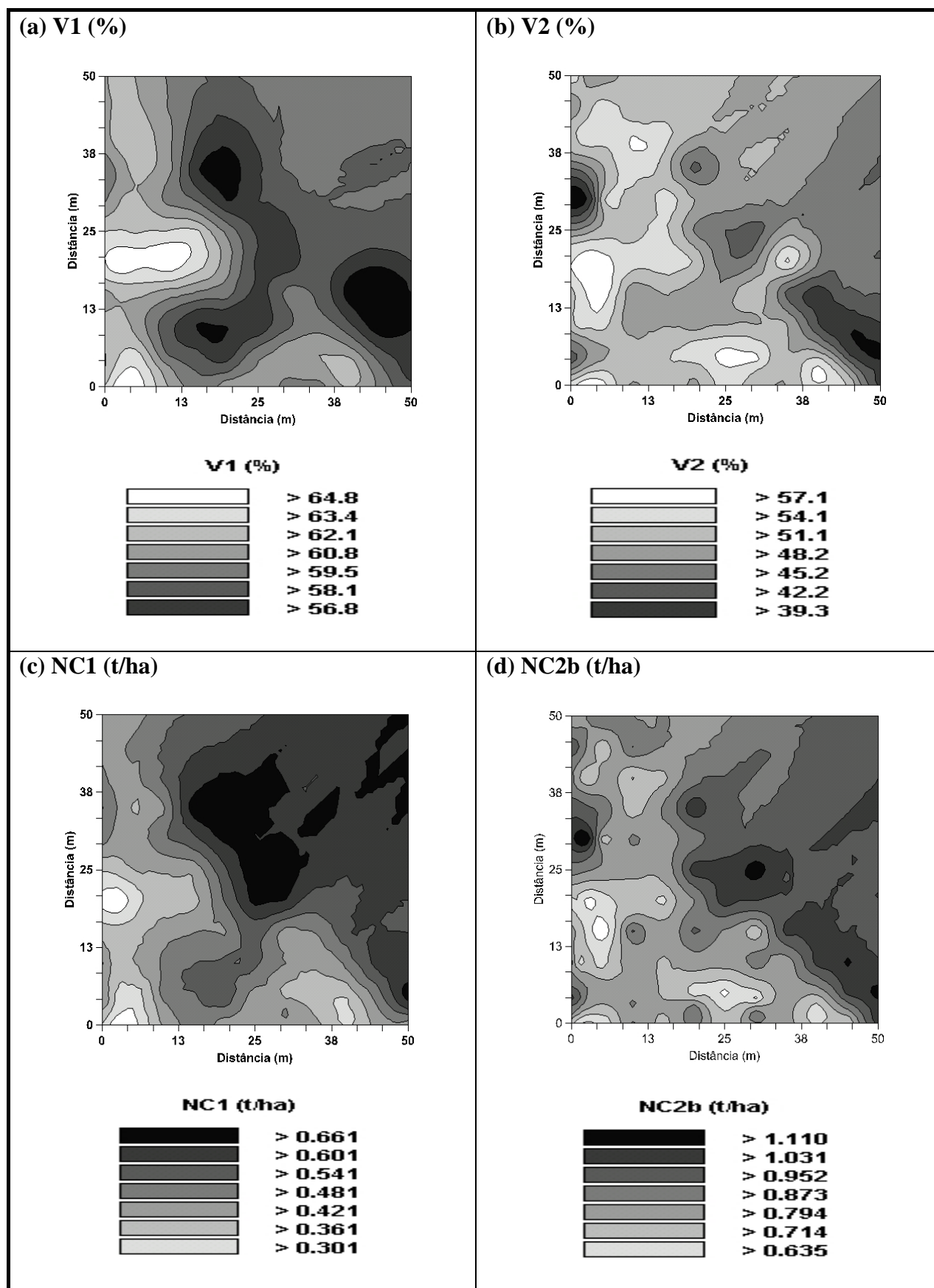


Figura 16. Mapas de krigagens simples dos atributos químicos (V1, V2, NC1 e NC2) de um Latossolo Vermelho Distrófico.

ferramenta extremamente útil para auxiliar em programas de agricultura de precisão. Uma das principais utilizações dos mapas de krigagem são: a organização dos dados coletados no campo em mapas da distribuição espacial dos atributos estudados e a determinação de zonas de manejo, ou seja, auxilia a tomada de decisões. No caso da massa seca da forragem, pode-se verificar no mapa regiões com valores baixos, médios e altos (Figura 12a). As áreas com valores de massa seca da forragem baixos podem ser associadas com áreas que porventura apresentem valores baixos ou altos de outros atributos químicos do solo, ou seja, por meio de mapas de krigagem pode-se diagnosticar o que está limitando à produção de uma determinada área ou região.

### **4.3.2. Análise semivariográfica cruzada**

#### **4.3.2.1. Ajuste dos semivariogramas cruzados entre os atributos estudados**

No Quadro 6 estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados entre atributos do milho *safrinha* e dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico. No geral, entre todos os semivariogramas cruzados, o de melhor ajuste foi estabelecido para o atributo  $MSF=f(r_{K2})$ , uma vez que seu coeficiente de determinação espacial foi o maior (0,651) e obteve uma elevada dependência espacial de 99,9%, seguido, respectivamente, pelos atributos:  $MSF=f(r_{CTC1})$ ,  $MSF=f(r_{K1})$  e  $MSF=f(r_{pH2})$ , cujos coeficientes de determinação espacial foram de 99,8; 90,0 e 99,9%.

#### **4.3.2.2. Validação cruzada dos semivariogramas cruzados entre os atributos estudados**

O Quadro 7 apresenta os parâmetros das validações cruzadas referentes às cokrigagens entre a produtividade de massa seca do milho *safrinha* e dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico. Os coeficientes de correlação ( $r$ ), que foram ajustados entre os valores observados e estimados dos atributos cokrigados, variaram entre 0,404 [ $MSF=f(r_{K2})$ ] e 0,643 [ $MSF=f(r_{CTC1})$ ]. Os coeficientes angulares ( $b$ ) variaram entre 0,530 [ $MSF=f(r_{K2})$ ] e 0,659 [ $MSF=f(r_{CTC1})$ ]. Os 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 1, conforme o GS<sup>+</sup> (2004).

#### **4.3.2.3. Semivariograma cruzado e mapa de cokrigagem entre os atributos estudados**



Quadro 6: Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados para a cokrigeagem entre a produtividade de massa seca da forragem do milho *safrinha* e alguns atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico.

Parâmetros								
Atributo <sup>(a)</sup>	Modelo <sup>(b)</sup>	Efeito Pepita (C <sub>0</sub> )	Patamar (C <sub>0</sub> +C)	Alcance (m) (A <sub>0</sub> )	r <sup>2</sup>	SQR <sup>(c)</sup>	ADE <sup>(d)</sup>	Classe de dependência espacial
<i>γ(h) cruzado entre atributos</i>								
<b>MSF=f (r_pH2)</b>	esf	-1,000.10 <sup>-1</sup>	-9,730.10 <sup>1</sup>	23,5	0,253	2,896.10 <sup>4</sup>	99,9	alta
<b>MSF=f (r_K1)</b>	esf	2,050.10 <sup>1</sup>	2,040.10 <sup>2</sup>	19,5	0,446	3,538.10 <sup>4</sup>	90,0	alta
<b>MSF=f (r_K2)</b>	gau	1,000.10 <sup>-1</sup>	2,588.10 <sup>2</sup>	18,6	0,651	3,956.10 <sup>4</sup>	99,9	alta
<b>MSF=f (r_CTC1)</b>	gau	1,060.10 <sup>1</sup>	5,929.10 <sup>3</sup>	28,3	0,643	3,31.10 <sup>7</sup>	99,8	alta

<sup>(a)</sup> MSF = produtividade de massa seca da forragem, r\_pH2 = resíduo do pH2, r\_K1 = resíduo do K1, r\_K2 = resíduo do K2, r\_CTC1 = resíduo da CTC1; <sup>(b)</sup> exp = exponencial, gau = gaussiano, esf = esférico; <sup>(c)</sup> SQR = soma dos quadrados dos resíduos; <sup>(d)</sup> ADE = avaliador da dependência espacial.

Quadro 7: Parâmetros das validações cruzadas referentes as cokrigagens entre a produtividade de massa seca do milho *safrinha* e alguns atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico.

Atributo <sup>(a)</sup>	Erro padrão		Coeficiente de correlação (r)	VO = a + b . VE <sup>(b)</sup>	
	observado	estimado		a	b
<i><math>\gamma(h)</math> cruzado entre atributos</i>					
MSF=f (r_pH2)	0,118	1878,854	0,454	5,934.10 <sup>3</sup>	6,050.10 <sup>-1</sup>
MSF=f (r_K1)	0,122	1878,464	0,435	6,451.10 <sup>3</sup>	5,730.10 <sup>-1</sup>
MSF=f (r_K2)	0,123	1938,049	0,404	7,041.10 <sup>3</sup>	5,300.10 <sup>-1</sup>
MSF=f (r_CTC1)	0,112	1832,847	0,643	5,169.10 <sup>-3</sup>	6,590.10 <sup>-1</sup>

<sup>(a)</sup>MSF = produtividade de massa seca da forragem, <sup>(b)</sup> VO = valor observado e VE = valor estimado.

A Figura 17 apresenta os semivariogramas cruzados e mapas de cokrigagens entre a produtividade do milho *safrinha* e dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico. Assim, o princípio da convergência das evidências mostrou que: a) os atributos r\_K1 e r\_K2 apresentaram correlações diretas e significativas com o MSF (Quadro 3); b) o r\_K1, r\_K2 e o MSF apresentaram ótimos ajustes semivariográficos simples (Quadro 4; Figuras 5a, 5b e 3a), e c) entre os atributos cokrigados, presentes na Figura 17, o r\_CTC1 foi o que apresentou lags em dois quadrantes (primeiro e quarto). 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 crescente ou decrescentemente, é que se despontaram os atributos r\_K1 e r\_K2 como bons indicadores da qualidade química do solo estudado, quando destinado à produção de massa seca da forragem do milho *safrinha* para as condições do município de Pereira Barreto (SP).



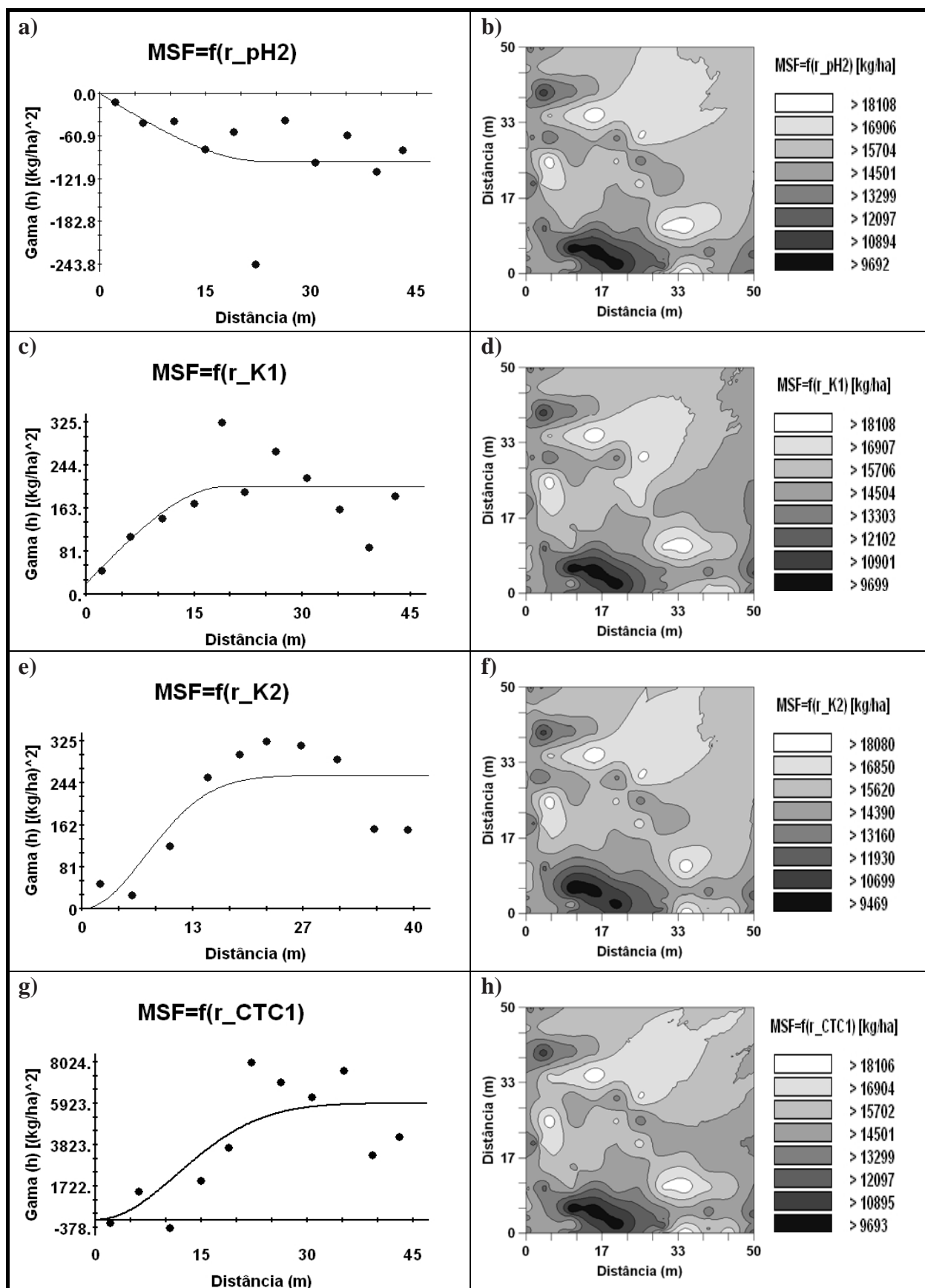


Figura 17. Semivariogramas cruzados e mapas de cokrigagens entre a produtividade do milho *safrinha* em função de alguns atributos químicos (pH2, K1, K2 e da CTC1) de um Latossolo Vermelho Distrófico.

## 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 muito alta e baixa. Desta forma, seguiram padrões espaciais claramente definidos, com alcances da dependência espacial entre 7,6 e 42,0 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 42,0 metros;
- 2) Apesar da correlação linear entre a produtividade de massa de forragem do milho *safrinha* (MSF) com os atributos químicos do solo (K1 e K2) ter sido baixa, sobretudo em função do elevado número de observações, foi extremamente significativa. Contudo, do ponto de vista espacial, houve excelente correlação entre a referida produtividade e o teor de potássio determinado nas duas camadas do solo;
- 3) O teor de potássio do solo ( $r_{K1}$  e  $r_{K2}$ ), apresentou-se como satisfatório indicador da qualidade química do solo, quando destinado à produtividade de massa seca de forragem do milho *safrinha*. Por outro lado, a referida produtividade pode ser estimada, por meio de equação de regressão linear simples de elevada significância, a partir da variável-atributo K1.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELICO, J. C. Desempenho da co-krigagem na determinação da variabilidade de atributos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.6, p.931-936, 2006.

BELEZE, J. R. F.; ZEOULA, L. M.; CECATO, U.; DIAN, P. H. M.; MARTINS, E. N.; FALCÃO, A. J. S. Avaliação de cinco híbridos de milho (*Zea mays*, L.) em diferentes estádios de maturação. 1. Produtividade, características morfológicas e correlações. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.32, n.3, p.529-537, 2003.

BERALDO, J. M. G. **Variabilidade espacial de atributos do solo e da produtividade de soja**. 2004. 62f. Tese (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, G. M. Os testes de regressão e correlação. Ribeirão Preto: SIAE, 2000. Disponível em: <[http://www.forp.usp.br/restauradora/gmc/gmc\\_livro/gmc\\_livro\\_cap17.html](http://www.forp.usp.br/restauradora/gmc/gmc_livro/gmc_livro_cap17.html)>. Acesso em: 28 Maio 2007.

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

CARVALHO, O. S.; GASCÓ, J. M.; LOPÉZ, F. G.; REQUEJO, A. S. Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.2, p.497-503, 1998.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1995. p.1-9.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.6, p.1013-1021, 2004.

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

DIAS, D. Milho. In: NEHMI, I. M. D. et al. (Coord). **Agriannual 2005: anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FTP, 2005. p. 409-410.

DOURADO NETO, D. **Variabilidade espacial das alturas de chuva e irrigação e de potenciais da solução do solo**. 1989. 180f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

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

FAHL, J. I.; CAMARGO, M. B. P.; PIZZINATTO, M. A.; BETTI, J. A.; MELO, A. M. T.; DEMARIA, J. C.; FURLANI, A. M. C. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas: 6. ed.** Campinas: Instituto Agrônômico, 1998. 396p. (Boletim, 200).

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho para silagem**. Guaíba: Livraria e editora Agropecuária, 2000. p.299-338.

FIETZ, C. R. **Variabilidade espacial do armazenamento de água no solo visando o manejo da irrigação por aspersão**. 1998. 97f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

FREDDI, O. S. **Variabilidade espacial da produtividade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e de atributos químicos de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria (MS) sob preparo convencional e plantio direto**. 2003. 154f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2003.

GONÇALVES, A. C. A. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo da irrigação**. 1997. 118f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; VIEIRA, S. R. Padrões de amostragem e intensidade de krigagem na caracterização do armazenamento de água no solo, em área irrigada por pivô central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.485-495, 1999.

**GS<sup>+</sup>**: Geostatistics for environmental sciences. 7. ed. Michigan: Gamma Desing Software, 2004. 159p.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Matemática – Núcleo de Estudos Estatísticos e Biométricos, 2004. 77p. (Apostila).

ISSAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600p.

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.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001. 118p.

LEÃO, A. B.; ANDRADE, A. R. S, CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; GUERRA, H. O. C. Variabilidade espacial de fósforo em solo do perímetro irrigado Engenheiro Arcoverde, PB. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.38, n.1, p.1-6, 2007.

LEMPP, B.; MORAIS, M. G.; SOUZA, L. C. F. Produção de milho em cultivo exclusivo ou consorciado com soja e qualidade de suas silagens. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.52, n.3, p.243-249, 2000.

MACHADO, R.V. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma hidroseqüência de solos bem à muito mal drenados**. 1994. 88f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1994.

MANZIONE, R. L. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em Araguari – MG**. 2002. 155f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

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

MELO, W. M. C.; PINHO, R. G. V.; CARVALHO, M. L. M.; PINHO, E. V. R.V. Avaliação de cultivares de milho para produção de silagem na região de Lavras – MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.23, n.1, p.31-39, 1999.

MELLO, G. **Variabilidade espacial de atributos do solo em áreas intensamente cultivadas nas regiões de Jaboticabal e Monte Alto - SP**. 2002. 91f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2002.

MITTELMANN, A.; SOBRINHO, F. S.; OLIVEIRA, J. S.; FERNANDES, S. B. V.; LAJÚS, C. A.; MIRANDA, M.; ZANATTA, J. C.; MOLETTA, J. L. Avaliação de híbridos comerciais de milho para utilização como silagem na região sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.684-690, 2005.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.5, p.839-847, 2006.

MYERS, J. C. **Geostatistical error management: qualifying uncertainty for environmental sampling and mapping**. New York: Van Nostrand Reinhold, 571p. 1997.

PAZ, A.; TABOADA, M. T.; GÓMEZ, M. J. Spatial variability in topsoil micronutrients contents in one-hectare cropland plot. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, n.3/4, p.479-503, 1996.

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

RAIJ, B. van ; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. 1995. 99f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

ROBERTSON, G. P. **GS<sup>+</sup>**: geostatistics for the environmental sciences. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

RODRIGUES, J. B. T. **Variabilidade espacial e correlações entre atributos de solo e produtividade na agricultura de precisão**. 2002. 126f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

SANTOS, M. A.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURAISHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. 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 Scientiarum**, Maringá, v.28, n.3, p.313-321, 2006.

SANTOS, A. O.; MAZIERO, J. V. G.; CAVALLI, A. C.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, H.; MORAES, J. F. L.; YANAI, K. Monitoramento localizado da produtividade de milho cultivado sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.5, n.1, p.88-95, 2001.

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

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.

SHIMAKURA, S. E. Interpretação do coeficiente de correlação. [s.l.]: UFPR, 2006. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/ce003/node74.html>>. Acesso em: 28 Maio 2007.

SILVA, A. P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. 1988. 105f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba. 1988.

SILVA, E. A. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G.; ROCHA, J. A. Um estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos de solo e planta. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.25, n.2, p.365-371, 2003b.

SILVA, F. M.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREDO, C. A. P.; MARQUES JÚNIOR, J.; MACHADO, R. V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.2, p.401-407, 2007.

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

SOUZA, L.C. de. **Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano**. 1999. 77f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.

TRANGMAR, B. B., YOST, R. S.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, Madison, v.38, n.1, p.45-94, 1985.

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

VIEIRA, S. R. Uso da geoestatística em estudos de variabilidade espacial. In: \_\_\_\_\_. **Curso de atualização em conservação de solo**. Campinas: IAC, 1995, 61p. (Apostila)

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

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.45, n.6, p.1040-1048, 1981.

WEIRICH NETO, P. H.; SVERZUT, C. B.; SCHIMANDEIRO. Necessidade de fertilizante e calcário em área sob sistema plantio direto considerando variabilidade espacial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.10, n.2, p.338-343, 2005.