

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO MESQUITA”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E
QUÍMICOS DE ARGISSOLO SOB DIFERENTES USOS E
OCUPAÇÃO NA MICROBACIA DO CÓRREGO FAZENDA
GLÓRIA, TAQUARITINGA – SP.**

Fabiana Camargo dos Reis

Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Fevereiro de 2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO MESQUITA”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E
QUÍMICOS DE ARGISSOLO SOB DIFERENTES USOS E
OCUPAÇÃO NA MICROBACIA DO CÓRREGO FAZENDA
GLÓRIA, TAQUARITINGA – SP.**

Fabiana Camargo dos Reis

Orientadora: Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Fevereiro de 2010

Reis, Fabiana Camargo
R375v Variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos de argissolo
sob diferentes usos e ocupação na Microbacia do Córrego Fazenda
Glória, Taquaritinga – SP. / Fabiana Camargo dos Reis. –
Jaboticabal, 2010
vii, 58 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010
Orientador: Teresa Cristina Tarlé Pissarra
Banca examinadora: José Marques Júnior, Sérgio Campos.
Bibliografia

1. Geoestatística. 2. Dependência espacial. 3. Atributos do solo.
4. Argissolo I. Título. II. Jaboticabal - Faculdade de Ciências Agrárias
e Veterinárias.

CDU 631.42:528.8

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

FABIANA CAMARGO DOS REIS – nascida em Santa Rita do Passa Quatro – SP, em 5 de fevereiro de 1979. Formou-se em Engenharia Agrônômica pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – UNESP em janeiro de 2006. Durante a graduação realizou estágios com geoprocessamento, olericultura, cana-de-açúcar e melhoramento genético de hortaliças. Entre o período de 2002/2003 foi membro da Empresa de Consultoria Júnior – CAPJr., onde participou de todas as etapas de uma organização do “Dia de Campo de Plantio Direto Soja e Milho”. Entre o período de 2003/2005 foi bolsista do projeto de extensão “Atitude”, financiado por uma empresa privada, cujo principal objetivo era conduzir uma horta para abastecer entidades carentes da região de Jaboticabal. Realizou seu estágio curricular obrigatório em uma empresa produtora de sementes de hortaliças, na área de pesquisa com melhoramento genético de melão. Em agosto de 2007 ingressou no curso de mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como bolsista do CNPq.

"O único homem que está isento de erros, é aquele que não arrisca acertar"

(Albert Einstein)

À Deus,

*Ao Niltinho,
Por toda a ajuda e incentivo*

*Aos meus avôs,
Durval e Henriqueta (In memorian)
Alípio (In memorian) e Zélia*

*Ao meu tio Quinho,
Que faz de nossos dias muito mais alegres e divertidos*

Ofereço

Aos meus pais José e Vera,

*O apoio, a compreensão, o incentivo e o amor de
você sempre foram imprescindíveis para eu
superar todos meus obstáculos e atingir meus
objetivos.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Professora Teresa Cristina Tarlé Pissarra, pela orientação e ajuda durante todo o curso, pela amizade construída e pela confiança depositada em mim.

Aos Professores José Marques Júnior e Sérgio Campos pela participação na banca examinadora e pelos comentários e sugestões que contribuíram para o enriquecimento do meu trabalho.

Ao Professor Gener Tadeu Pereira pelos ensinamentos sobre geoestatística.

Ao Professor José Frederico Centurion pelas sugestões e ajuda na condução do meu trabalho.

Aos colegas do Departamento de Engenharia Rural Izilda, Tatiane, Thaís, Flávia, Bruno e Fabrício.

Às minhas amigas: Adriane, Liliani, Vivian, Lili, Camila e Lígia, pelo ótimo convívio e pelos momentos de descontração, meu coração tem um pedacinho pra cada uma de vocês.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural: Ronaldo José de Barros, Luiz Mario Vendramin e Luis Cláudio da Silva por toda a ajuda na implantação do meu experimento.

Ao técnico de laboratório Orivaldo Gomes por todo auxílio e ajuda nas análises físicas de solo.

Aos funcionários da Fazenda de Pesquisa pela ajuda nas coletas de solos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo.

À Fundunesp pelo auxílio financeiro concedido.

À Unesp, ao Programa de Ciência do Solo e ao Departamento de Engenharia Rural pela oportunidade concedida.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

	Página
I. INTRODUÇÃO	01
II. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1 Uso e ocupação do solo	03
2.2 Geoestatística	05
2.3 Variabilidade espacial dos atributos físico-químicos do solo	11
III. MATERIAL E MÉTODOS	15
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1 Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo	20
4.2 Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo	31
V. CONCLUSÕES.....	48
VI. REFERÊNCIAS	49

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE
ARGISSOLO SOB DIFERENTES USOS E OCUPAÇÃO NA MICROBACIA DO
CÓRREGO FAZENDA GLÓRIA, TAQUARITINGA – SP**

RESUMO - O trabalho foi desenvolvido na Microbacia Hidrográfica do Córrego da Fazenda Glória no Município de Taquaritinga (SP), com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial dos atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em área de cana-de-açúcar, pastagem e vegetação nativa. A amostragem do solo foi feita nos pontos de cruzamento de uma malha regular de 10 m, totalizando 110 pontos na área de cana-de-açúcar, 126 pontos na área de pastagem e 88 pontos na área de vegetação nativa. Os resultados das análises dos atributos do solo foram submetidos à estatística descritiva dos dados, a avaliação de dependência espacial por meio de técnicas geoestatísticas e a interpolação dos dados por meio da krigagem para geração de mapas. Os resultados mostraram que: a) os atributos do solo estudados apresentaram uma estrutura de dependência espacial moderada e forte, com exceção do Ca, Mg, SB e V na área de cana-de-açúcar, da macroporosidade na área de pastagem e da microporosidade, porosidade total, Mg, SB e CTC na área de vegetação nativa; b) os atributos físico-químicos ajustaram-se aos modelos esférico e exponencial, e alguns apresentaram semivariograma sem estrutura definida; c) a variabilidade espacial dos atributos físico-químicos forneceu a visualização de zonas homogêneas de manejo, permitindo a adoção de um sistema de agricultura de precisão; d) vegetação nativa contribui para a melhoria dos atributos físicos e da matéria orgânica em relação às áreas de cana-de-açúcar e pastagem; e) as maiores variabilidades medidas por meio do coeficiente de variação foram observados na área da vegetação nativa; f) as técnicas geoestatísticas forneceram um maior detalhamento das áreas em estudo, possibilitando em futuras amostragens usar o alcance de dependência espacial para o planejamento do número de coleta de amostras.

Palavras-chave: geoestatística, dependência espacial, atributos do solo, Argissolo.

**SPATIAL VARIABILITY OF PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF ULTISOL
UNDER DIFFERENT LAND USE AND LAND COVER IN CÓRREGO DA FAZENDA
GLÓRIA WATERSHED, TAQUARITINGA - SP**

SUMMARY - The study was conducted in Córrego da Fazenda Glória watershed, Taquaritinga Municipality (SP), in order to assess the spatial variability of physical and chemical attributes of an Ultisol in the area of sugarcane, pasture and native vegetation. Soil sampling was done at the crossing points of a regular grid of 10 m, totaling 110 points in the area of sugarcane, 126 points in the pasture and 88 points in the area of native vegetation. The results of analysis of soil attributes were subjected to analysis of the data, the evaluation of spatial dependence using geostatistics and interpolation of data by kriging to generate maps. The results showed that: a) the soil characteristics studied showed a spatial dependence structure moderate or strong, except for Ca, Mg, SB and V in the area of sugarcane, macroporosity in a pasture area and microporosity porosity, Mg, SB and CTC in the area of native vegetation, b) the physical and chemical were adjusted to exponential and spherical models, and some had no defined structure semivariogram c) the spatial variability of physical and chemical attributes provided visualization of homogeneous management zones, allowing the adoption of a system of precision agriculture, d) native vegetation helps to improve the physical and organic matter in relation to the areas of sugar cane and pasture; e) highest variability measured by the coefficient of variation were found in the area of native vegetation; f) the geostatistical techniques provide a more detailed study of the areas, allowing use in future sampling the range of spatial dependence for planning the number of sampling.

Keywords: geoestatistics, spatial dependence, soil attributes, Ultisol.

I. INTRODUÇÃO

Dentre os recursos naturais mais degradados pelo homem, o solo é atualmente o que mais sofre alteração em suas características naturais devido à exploração inadequada. A história do uso do solo mostra que essa alteração nem sempre dá lugar a um novo sistema ecológico sustentável, desse modo, solos utilizados intensamente e de forma inadequada, são levados à degradação (ALVES, 2001).

Ter o conhecimento do uso e ocupação inserido numa Bacia Hidrográfica constitui-se não apenas num esforço de preservação ambiental, mas uma forma eficaz de planejamento territorial (econômico, social, político e ambiental), além de que o perfeito conhecimento dos recursos naturais (solos, água, vegetação, recursos minerais de interesse agrícola) e das características sócio-econômicas (população, produção, evolução da fronteira agrícola e uso atual das terras), constitui o embasamento indispensável para a avaliação das áreas passíveis de utilização com atividades agrícolas sustentáveis e das áreas que devem ser preservadas

O reconhecimento, a caracterização e o estudo do solo são de grande importância para o mapeamento e uso da terra, com ele, pode-se melhor entender suas propriedades físicas e químicas, assim sendo usado de forma racional (MARCHINI et al., 2007). Uma das principais causas da perda de qualidade do solo é a degradação de suas propriedades físico-químicas. Práticas inadequadas e excessivas de manejo do solo, das culturas e o desmatamento, levam a condições depauperantes do sistema.

O interesse por estudos da variabilidade espacial dos atributos físico-químicos do solo tem aumentado significativamente nos últimos anos. Vários trabalhos têm demonstrado uma ampla diversidade nos resultados obtidos, apresentando ou não dependência espacial, este fato provavelmente ocorre devido aos diferentes manejos aplicados nas diferentes culturas e às características intrínsecas do solo. Desconsiderando parcialmente a estatística clássica, cuja idéia básica é a aleatoriedade espacial dos dados, e partindo do princípio que há uma correlação entre as amostras num determinado espaço amostral, a geoestatística pode fornecer ferramentas eficazes

visando à diminuição de gastos com insumos agrícolas e à diminuição do impacto ambiental ocasionado pelo preparo excessivo do solo. Usualmente, o interesse da análise geoestatística não se limita à obtenção de um modelo de semivariograma e seus parâmetros, desejando-se também predizer valores em pontos não amostrados, sobretudo de atributos que sofrem influência do manejo (GOMES et al., 2007).

A área de estudo localizada na Microbacia Hidrográfica do Córrego Fazenda Glória, segundo PISSARRA et al. (2008), é de grande importância, pois está inserida na Bacia do Córrego Rico e vinculada ao Comitê de Bacias do Rio Mogi-Guaçu, segundo a Divisão Hidrográfica do Estado de São Paulo. Objetivou-se neste estudo analisar a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos em um Argissolo-Vermelho Amarelo, em área de cana-de-açúcar, pastagem e vegetação nativa, com intuito de verificar o comportamento de cada uso e ocupação inseridos numa microbacia.

II. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Uso e ocupação do solo

Os conceitos de cobertura do solo e uso do solo são similares, podendo se confundir em alguns casos, mas não equivalentes. De acordo com TURNER et al. (1994), citado por BRIASSOULIS (1999), cobertura do solo compreende a caracterização do estado físico, químico e biológico da superfície terrestre, por exemplo, floresta, gramínea, água, ou área construída; já uso do solo se refere aos propósitos humanos associados àquela cobertura, por exemplo, pecuária, recreação, conservação, área residencial, etc.

Uma única classe de cobertura pode suportar múltiplos usos (por ex., extração madeireira, preservação de espécies, recreação em áreas de floresta), ao mesmo tempo em que um único sistema de uso pode incluir diversas coberturas (por ex., certos sistemas agropecuários combinam áreas cultivadas, pastagem melhoradas, áreas de reserva e áreas construídas); mudanças no uso do solo normalmente acarretam mudanças na cobertura do solo, mas podem ocorrer modificações na cobertura sem que isto signifique alterações no seu uso (TURNER et al.(1994), citado por BRIASSOULIS, 1999).

Segundo ROSA (1990), a expressão "uso do solo" pode ser entendida como sendo a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem. O levantamento do uso do solo é de grande importância, na medida em que os efeitos do mau uso causam deterioração no ambiente. Os processos de erosão intensos, as inundações, os assoreamentos desenfreados e a degradação da terra têm sido largamente reconhecidos como um maior problema que ameaça a produção de alimentos no mundo todo. Dentre as maiores causas de degradação estão às práticas agrícolas, as mudanças no uso da terra, a remoção de vegetação natural, o uso de máquinas e químicos e a modificação de sistemas hidrológicos. Dentre essas causas, a mudança do uso da terra tem sido o principal causador de impactos na qualidade do solo e da

água, emissão de metano, e redução de absorção de CO₂ (LAMBIN et al., 2000; SCHNEIDER & PONTIUS, 2001; TILMAN et al., 2001).

Muito tem se questionado, e despertado grande interesse nas comunidades científicas sobre o acelerado processo de mudança do uso e ocupação do solo nas últimas décadas, e aos possíveis impactos ambientais e sócio-econômicos dessas mudanças, que causam preocupações desde o nível local até o global.

Conforme INPE (2009), em nível local, podem ser citados os problemas de degradação do solo, sedimentação, contaminação e extinção de espécies. Em termos sócio-econômicos, as mudanças de uso do solo afetam as estruturas de emprego, produtividade da terra, qualidade de vida, etc. Em áreas urbanas, causa preocupação, inclusive nos países desenvolvidos, a expansão dos subúrbios e áreas industriais nas periferias das grandes cidades, causando perda de áreas para agricultura e de vegetação natural; e, finalmente, nos países subdesenvolvidos, as precárias condições de vida e ambientais resultantes do rápido crescimento de centros urbanos.

Um aspecto importante é que, embora sejam principalmente os impactos negativos que motivem o interesse pelo entendimento dos processos de mudança no uso e ocupação do solo, nem sempre as mudanças são negativas, especialmente se consideradas a escala temporal e espacial de observação do evento e suas conseqüências, e a possibilidade de adoção de medidas mitigadoras (BRIASSOULIS, 1999). A questão mais importante que se coloca atualmente é a sustentabilidade do desenvolvimento, e o balanço adequado entre as questões sociais, econômicas e ambientais envolvidas (INPE, 2009).

A ocupação desordenada de bacias hidrográficas acarreta inúmeras alterações ambientais, como por exemplo, a degradação físico-química do solo, que convergem para problemas sociais afetando a população consumidora ou residente nessa bacia. A prática da agricultura e da pecuária em muito contribui para o caráter de desflorestamento das bacias, principalmente quando as condições do solo se remetem às práticas do cultivo em escala comercial. Então, o estudo da variabilidade espacial dos atributos físico-químicos do solo nos diferentes uso e ocupação, nos fornecerá um

entendimento de como cada um se comporta, e seu impacto dentro da bacia hidrográfica em questão.

2.2 Geoestatística

Desde o início do século XX, a variabilidade do solo tem preocupado pesquisadores por proporcionar diferenças no desenvolvimento e na produtividade das culturas, alterando resultados de pesquisas, mesmo com o solo considerado homogêneo em parcelas experimentais. Problemas como esses ocorrem devido à subjetividade ao se traçar os delineamentos sem um conhecimento prévio da estrutura espacial de variáveis do solo (COELHO FILHO et al., 2001).

A geoestatística surgiu na África do Sul, quando o Engenheiro de Minas D.G. Krige, em 1951, trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia encontrar sentidos nas variâncias se não levasse em consideração a distância entre as amostras, então, o estudioso Matheron baseado nessas observações, desenvolveu uma teoria, a qual ele chamou de Teoria das Variáveis Regionalizadas e que contém os fundamentos da geoestatística, como explica VIEIRA (2000).

A caracterização da variabilidade espacial é essencial para um entendimento melhor das inter-relações entre propriedades do solo e fatores ambientais. Com um modelo de dependência espacial de variáveis do solo e planta, a geoestatística possibilita a estimativa em pontos não amostrados, viabilizando o mapeamento da variável. Este procedimento pode auxiliar na melhor distribuição das parcelas e dos blocos experimentais no campo, assim como o manejo mais racional da água, de fertilizantes e de defensivos agrícolas (COELHO FILHO et al. 2001).

Mesmo em uma área de solo homogêneo, a medida de uma propriedade em alguns pontos pode revelar grandes variações de valores, pois o solo é produto da ação de diversos fatores de formação e varia continuamente na superfície (GONÇALVES et al., 2001).

Quando uma determinada propriedade varia de um local para outro com algum grau de organização ou continuidade, expresso pela dependência espacial, a estatística clássica deve ser abandonada e dar lugar a uma estatística relativamente nova: a geoestatística (VIEIRA, 2000). Segundo LIMA et al. (2006b), é importante assinalar que a geoestatística não se refere a um tipo especial, diferente ou alternativo de estatística. O fato é que cada observação é descrita não apenas pelo seu valor, mas também pelas informações de sua posição, expressa por um sistema de coordenadas.

Segundo PANOSSO (2006) uma variável regionalizada é uma variável aleatória que assume diferentes valores de acordo com a sua posição na área de estudo. Se todos os valores de uma variável regionalizada forem considerados em todos os pontos dentro de uma área amostral, a variável regionalizada é apenas uma entre infinitas variáveis aleatórias. Esse conjunto é chamado de função aleatória e é simbolizado por $Z(x_i)$.

VIEIRA (2000) relata que quando retiramos uma amostra de solo em um local com coordenadas definidas, teremos apenas uma realização da função aleatória. Para estimar valores em locais não amostrados, devemos introduzir as restrições de estacionaridade estatística. A existência de estacionaridade permite que o experimento possa ser repetido mesmo que as amostras sejam coletadas em pontos diferentes, pois elas pertencem à mesma população com os mesmos momentos estatísticos.

GUIMARÃES (2004) diz que uma variável é estacionária se o desenvolvimento desse processo no tempo ou no espaço ocorrer de maneira mais ou menos homogênea, com oscilações aleatórias contínuas em torno de um valor médio, em que nem a amplitude média e nem as oscilações mudam bruscamente no tempo ou no espaço.

Uma função aleatória $Z(x)$ é dita estacionária de 1ª ordem se o seu valor esperado é o mesmo em todos os locais da região estudada (ARAÚJO, 2002). Já a estacionaridade de 2ª ordem, não é uma condição fácil de ser satisfeita na prática, pois implica na existência de uma variância finita de valores medidos, essa suposição é forte e difícil de ser verificada (PANOSSO, 2006).

Alguns métodos estimadores geoestatísticos da autocorrelação espacial são usados como ferramentas de continuidade espacial, como: o variograma ou semivariograma, o covariograma e o correlograma. Essas ferramentas são usadas para investigar a magnitude da correlação entre as amostras e sua similaridade ou não, com a distância (ZIMBACK, 2003).

O semivariograma é uma das ferramentas mais utilizadas na geoestatística para medir a dependência espacial. A continuidade ou dependência espacial pode ser estimada pelo semivariograma experimental, o qual é usado para descrever a relação existente entre os valores de uma variável de interesse em vários intervalos de distâncias.

Quando se calcula o semivariograma, obtêm-se pares de valores de semivariâncias $[\gamma(h)]$ e distâncias (h) , os quais deverão ser dispostos em um gráfico de dispersão, tendo como valores de y , as semivariâncias, e de x , as distâncias. A esses pontos, deverá ser ajustado um modelo.

Existem na literatura alguns modelos adequados que tem atendido a contento as necessidades de modelagem de semivariogramas. Alguns modelos básicos, usuais são dados pelas equações seguintes:

- Esférico: $\gamma(h) = C_0 + C [1,5 (h/A) - 0,5 (h/A)^3]$
- Exponencial: $\gamma(h) = C_0 + C [1 - \exp (-h/a)]$
- Gaussiano: $\gamma(h) = C_0 + C [1 - \exp (-h/a)^2]$
- Linear: $\gamma(h) = C_0 + [h (C/A)]$.
- Linear com patamar: $\gamma(h) = C_0 + [h (C/A)]$ para $h \leq A$ e $\gamma(h) = C_0 + C$ para $h > A$

Para propriedades espacialmente dependentes, espera-se que a diferença entre valores $[Z(x_i) - Z(x_i+h)]$, em média, seja crescente com a distância até um determinado ponto, a partir do qual se estabiliza num valor, denominado patamar (C_1) e aproximadamente igual à variância dos dados. Esta distância recebe o nome de alcance (a) e representa o raio de um círculo, dentro do quais os valores são tão parecidos uns com os outros que são correlacionados. O valor da semivariância na

interseção do eixo y tem o nome de efeito pepita (C_0) e representa a variabilidade da propriedade em estudo em espaçamentos menores do que o amostrado. A Figura 1 ilustra um semivariograma experimental com características muito próximas do ideal:

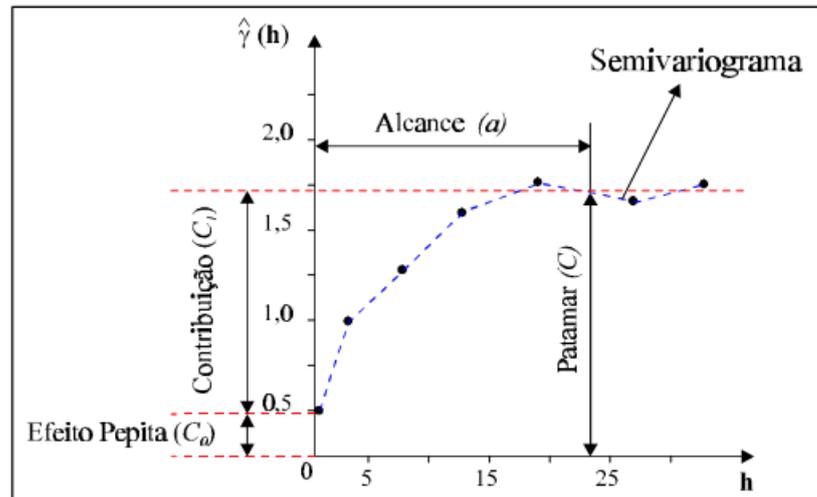


Figura 1. Modelo ideal de um semivariograma.

Onde:

- **Alcance (a):** distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. Na Figura 1, o alcance ocorre próximo de 25m.
- **Patamar (C):** é o valor do semivariograma correspondente ao seu alcance (a). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ($\text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$) torna-se invariante com a distância.
- **Efeito Pepita (C_0):** idealmente, $g(0)=0$. Entretanto, na prática, à medida que h tende para 0 (zero), $g(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado Efeito Pepita (C_0), que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989), mas é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem.
- **Contribuição (C_1):** é a diferença entre o patamar (C) e o Efeito Pepita (C_0).

O efeito pepita indica a variabilidade não explicada, que pode ocorrer devido aos erros de medidas e microvariação. Quando o semivariograma for constante, o efeito pepita será igual ao patamar. Para qualquer valor de h , obtendo-se o efeito pepita puro ou ausência total de dependência espacial, significa que o alcance (a) para os dados em questão, é menor do que o menor espaçamento entre amostras, apresentando distribuição completamente aleatória (FREDDI, 2003).

Assim, quanto maior o efeito pepita, mais fraca é a dependência espacial de um atributo (VIEIRA et al., 1983). O semivariograma é estimado por:

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

Em que: $N(h)$ é o número de pares experimentais de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados por um vetor h . O gráfico de $\gamma^*(h)$ "versus" os valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é uma função do vetor h e, portanto, depende da magnitude e direção de h .

TRANGMAR et al.(1985), definiram um parâmetro de comparação do tamanho relativo do efeito pepita, chamado de Indicativo de Dependência Espacial (IDE) ou Indicative Goodness of fitness (IGF) dado pela seguinte equação:

$$IDE = \frac{C_0}{C_0 + C} \cdot 100$$

Em que:

- C_0 - é a semivariância do efeito pepita
- $C_0 + C$ - é a semivariância do patamar.

A verificação do IDE foi desenvolvida por CAMBARDELLA et al. (1994), identificando IDE < 25% como correlação forte; IDE entre 25 a 75% como correlação moderada e IDE > 75,5 correspondendo à correlação fraca.

Muitas vezes, o interesse da análise não se esgota em modelar a estrutura de variabilidade. Em diversas situações, o interesse está na estimação de valores em pontos não amostrados, seja por um interesse local, seja pela intenção de obter um detalhamento da área que vai além do permitido pela amostra. A krigagem usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 2000). Nestes casos, é preciso lançar mão de algum interpolador (preditor) dentre os existentes na literatura (FARIAS et al., 2002). Supondo-se que se queira estimar valores Z^* , para qualquer local, x_0 , onde não se tem valores medidos, e que a estimativa deve ser uma combinação linear dos valores medidos, tem-se:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)$$

Onde N é o número de vizinhos medidos, $Z(x_i)$, utilizados na estimativa da propriedade e λ_i são os ponderadores aplicados a cada $Z(x_i)$, os quais são selecionados de forma que a estimativa obtida seja não tendenciosa (FARIAS et al., 2003). De acordo com ARAÚJO (2002) o que torna a krigagem um ótimo interpolador é a maneira como os pesos são distribuídos, com o objetivo de estimar o melhor possível o que seria o valor medido para um determinado local dentro da área estudada.

Com o uso da krigagem, pode-se conhecer a variância da estimativa, e esta é uma característica que diferencia este método dos demais. É importante, pois, além de permitir a estimativa de valores sem tendência para os locais onde estes não foram medidos, ainda se pode conhecer a confiança associada a essas estimativas (VIEIRA, 2000). Este mesmo autor complementa dizendo que se esta é uma variância, pode-se compará-la com a variância dos dados medidos. Assim, quanto menor for o efeito pepita do semivariograma, menor será a variância da estimativa, ou seja, quanto maior for a diferença do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa ou maior a confiança que se pode ter na estimativa.

2.3 Variabilidade espacial dos atributos físico-químicos do solo

As ferramentas geoestatísticas permitem detectar a existência da continuidade e distribuição espacial das variáveis estudadas, possibilitando uma descrição detalhada das propriedades do solo. O nível de detalhamento é obtido por meio da distância entre os pontos amostrados. As propriedades físicas e químicas estudadas têm demonstrado variação de um local para outro, apresentando continuidade espacial em função do manejo adotado e das características de origem do solo (SCHAFFRATH, 2006).

MARCHINI et al. (2007), determinando a variabilidade da porosidade do solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo, observaram que a macrocoporosidade apresentou um coeficiente de variação (CV) alto (> 24%), segundo WARRICK & NIELSEN (1980), enquanto a microporosidade e porosidade total apresentou um médio coeficiente de variação (12 a 24 %).

CAJAZEIRA (2007), trabalhando num Argissolo Amarelo na profundidade de 0-20 cm encontrou um CV baixo para microporosidade, porosidade total e densidade do solo, e alto para macrocoporosidade. Todos os atributos ajustaram-se ao modelo esférico, com exceção da densidade do solo que apresentou efeito pepita puro, isto quer dizer que, o alcance é nulo e que não há dependência espacial entre as amostras, e que os pontos são independentes entre si, atendendo o requisito básico da estatística clássica, que, neste caso, pode ser usada sem restrições. Entretanto WOLLENHAUPT et al. (1997) ressaltaram que, mesmo quando os valores do CV sejam moderados, este não é necessariamente um bom indicador da variabilidade espacial das propriedades do solo, haja vista a ocorrência de locais no campo com valores extremamente altos ou baixos, sendo assim, é necessário o estudo geoestatístico.

CARVALHO et al. (2003) amostraram um pomar de videiras em uma malha hierárquica, com espaçamentos de 1 x 1 m na malha maior e de 0,35 x 0,35 m na malha menor, e uma transeção na diagonal, com 0,35 m entre pontos amostrais, totalizando 156 pontos amostrais em uma associação de Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico + Argissolo Vermelho distrófico ou eutrófico + Latossolo Vermelho distrófico.

As variáveis apresentaram dependência espacial, ajustando-se o modelo exponencial para a porosidade total com alcance de 2,55 m, e ajuste do modelo esférico para as demais variáveis, com alcance de 2,75 m para a macroporosidade, 2,55 m para a microporosidade e 4,32 m para a densidade do solo. Os autores sugerem que mapas de isolinhas podem ser construídos a partir dos alcances dos semivariogramas e as áreas com limitação de aeração – macroporosidade menor que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ podem ser escarificadas a fim de diminuir a densidade e aumentar a aeração do solo. Esta é uma possibilidade de executar manejo preciso e localizado das áreas com limitações físicas às plantas.

ZHAO et al. (2007) realizaram um ensaio em área de pastagem na Bacia Hidrográfica de Xilin, Mongólia, China, com um grid de 15x15, numa área total de 14175 m². A variável densidade do solo também se ajustou ao modelo exponencial, com alcance 57 m e um coeficiente de variação de 10,64%. DUFFERA et al. (2007) realizaram um experimento na Universidade do Estado da Carolina do Norte, e encontraram um coeficiente de variação de 12 e 8% para porosidade total e densidade do solo respectivamente. Eles ressaltam que, o coeficiente de variação fornece uma estimativa relativa da variabilidade da propriedade, mas não fornece informações de como essa variabilidade é distribuída no espaço. As duas variáveis em questão apresentaram efeito pepita puro, apresentando uma baixa dependência espacial.

Em outro ensaio em Rugao - China, ZHAO et al. (2008) avaliaram a dependência espacial dos atributos químicos do solo. O P, K e MO foram ajustados pelo modelo esférico, apresentado um índice de dependência fraco para o P e a MO, e moderada para o K. O P apresentou um coeficiente de variação de 112%, indicando uma considerável variabilidade na concentração deste nutriente e o alcance atingido foi 4,58 m. Os autores ressaltaram que todos os nutrientes apresentaram um coeficiente de variação maior que 20%, indicando uma grande variabilidade nas concentrações dos atributos analisados.

FATHI et al. (2008) procurando entender a variabilidade espacial dos atributos químicos, no Irã, encontraram uma forte dependência espacial para todos os nutrientes (P, Mg, K, MO e CTC). O fósforo foi o nutriente que apresentou menor alcance (49,5 m) e todos se ajustaram ao modelo esférico. Em contrapartida WILDING & DREES (1983) observaram, na profundidade de 0 – 0,2 m, que as variáveis CTC, MO e pH apresentaram baixa variabilidade (CV < 15%).

SALVIANO et al. (1998) avaliando a variabilidade espacial de atributos do solo e de *Crotalaria juncea* numa associação de Argissolo Vermelho-Amarelo + solo Litólico (Argissolo Vermelho + Neossolo), em área comercial de cana-de-açúcar, obtiveram dependência espacial para todos os atributos estudados, com exceção do P (0,00-0,20 m), sendo que os atributos analisados puderam ser agrupados em três categorias quanto ao alcance do semivariograma e os atributos químicos em uma classe, com um alcance variando de 12 a 32 m, enquanto que SOUZA et al. (1997), avaliando propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico, concluíram que, com exceção de V%, que apresentou distribuição aleatória, outras propriedades como MO, Ca, Mg, Ca+Mg e S mostraram dependência espacial de até 59 m. BARBIERI et al. (2008) estudando a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo sob o cultivo de cana-de-açúcar em uma área côncava em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm), encontraram um grau de dependência médio e ajustaram ao modelo esférico para o fósforo e potássio, já para o V% encontraram um grau de dependência forte, e os modelos ajustados foram o esférico (0-20 cm) e o exponencial (20-40cm).

SOUZA et al. (2008) instalaram um experimento sob pastagem para avaliar a variabilidade dos atributos químicos (pH, P, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC e V%) na profundidade de 0-20 cm, e observaram o menor coeficiente de variação para o pH (4,78%). De acordo com DAVIS et al.(1995), o menor CV encontrado para o pH é por ser este uma função logarítmica e assim, apresenta, naturalmente, pequena variação. De acordo com WARRICK e NIELSEN (1980), o atributo pH apresentou baixa variabilidade e o atributo Al^{3+} alta variabilidade, os demais atributos, média variabilidade. SOUZA et al. (2006), estudando atributos químicos do solo em um

latossolo, encontraram valores próximos de CV para pH, P, K⁺, CTC e V%. Os atributos pH e H⁺Al apresentaram uma forte dependência espacial, o restante dos atributos indicaram uma moderada dependência. AZEVEDO (2004), estudando os atributos do solo em pastagem, obteve resultados semelhantes para P, K e Mg.

ROQUE et al. (2005) avaliando os atributos químicos do solo sob cultivo de seringueira em um Argissolo Vermelho-Amarelo na camada de 0-20 cm ajustaram o modelo exponencial para a maioria das variáveis em estudo. A maioria das variáveis apresentou dependência espacial moderada, concordando com SALVIANO et al. (1998).

III. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo encontra-se situada na Microbacia Hidrográfica do Córrego da Fazenda Glória, localizada no centro norte do Estado de São Paulo, no planalto ocidental paulista, no município de Taquaritinga, apresentando as seguintes coordenadas geográficas: latitudes 21° 20' 50" S e 21° 21' 11" S, e longitudes 48° 30' 59" W Gr. e 48° 31' 18" W Gr. O Córrego da Fazenda Glória nasce na Serra do Jaboticabal, em Taquaritinga, e deságua à montante do Córrego Rico (Figura 2).

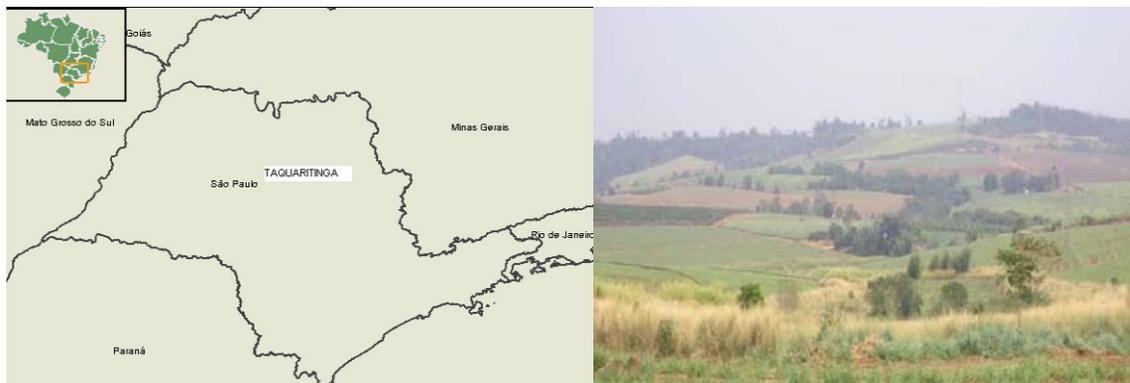


Figura 2. Localização e vista geral da área experimental, Bacia Hidrográfica do Córrego Fazenda da Fazenda Glória, município de Taquaritinga, SP. Fonte: Pissarra et al. 2008.

Essa microbacia foi escolhida por sua representatividade na região em importância agrícola, com características socioeconômicas rurais, e por ser a única a apresentar fragmentos de Mata Atlântica. É uma área de cabeceira de com formação natural, drenada por um curso d'água, a montante de secção transversal considerada, para onde converge toda a água de escoamento (PISSARRA et al., 2008)

O clima é classificado de acordo com o sistema de Classificação Climática de Köppen, como clima mesotérmico úmido de verão quente (Cwa). De acordo com esta classificação, a precipitação varia entre 1100 e 1700 mm anuais, e a temperatura média do mês mais quente é sempre superior a 22° C e a do mês mais frio é inferior a 18° C. Baseando-se no mapa apresentado pelo INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO

(1974), o material geológico da área é constituído de arenitos com cimento calcário, classificados como grupo Bauru (Kb – Cretáceo Superior), composto pela formação Marília.

A área apresenta conformação relativamente movimentada, sendo o relevo classificado como ondulado. O exame da carta topográfica do IBGE de 1971 permite observar a presença de linhas de “cuestas” que segundo PENTEADO E RANZANI (1971) delimitam parte do bordo superior do planalto de Jaboticabal.

Segundo OLIVEIRA et al. (1999), a principal unidade de solo encontrada na região, é classificada de acordo com o mapa pedológico do Estado de São Paulo como Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), que são solos minerais, não hidromórficos, com horizonte A ou E (horizonte de perda de argila, ferro ou matéria orgânica, de coloração clara) seguido de horizonte B textural, com nítida diferença entre os horizontes. Apresentam horizonte B de cor avermelhada até amarelada e teores de óxidos de ferro inferiores a 15%. Podem ser eutróficos, distróficos ou álicos. O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico de textura arenosa, segundo EMBRAPA (1999).

A vegetação natural remanescente é composta por floresta latifoliada tropical, sendo também chamada de mata úmida e floresta latifoliada semidecídua ou mata seca (SILVA, 1991). Nesta área as culturas predominantes são: pastagem, cana-de-açúcar e citros.

Como referências ao uso e ocupação do solo foram analisadas os atributos físico-químicos do solo das seguintes coberturas: cana-de-açúcar, pastagem e vegetação nativa (Figura 3), que perfazem a área total de uma microbacia de 1º ordem de magnitude.

Foram coletadas amostras de solos georreferenciadas, em grade regular de 10 x 10 m (Figura 4), em 110 pontos na área de cultivo de cana-de-açúcar, 126 pontos na área de pastagem, e 88 pontos na área de vegetação nativa, na profundidade de 0 - 0,1 m. O menor número de amostras coletadas na vegetação nativa foi devido às dificuldades impostas pelo declive do terreno.

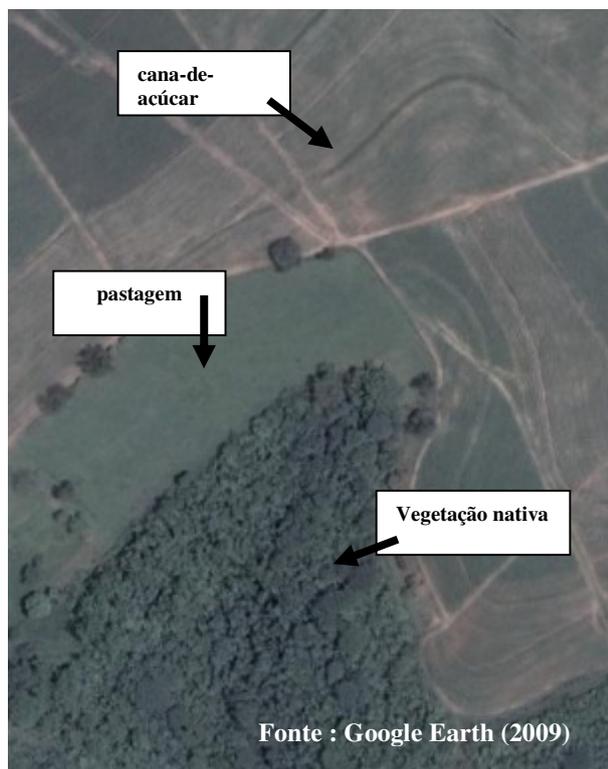


Figura 3. Vista aérea da área em estudo, Bacia Hidrográfica do Córrego da Fazenda Glória, Município de Taquaritinga.

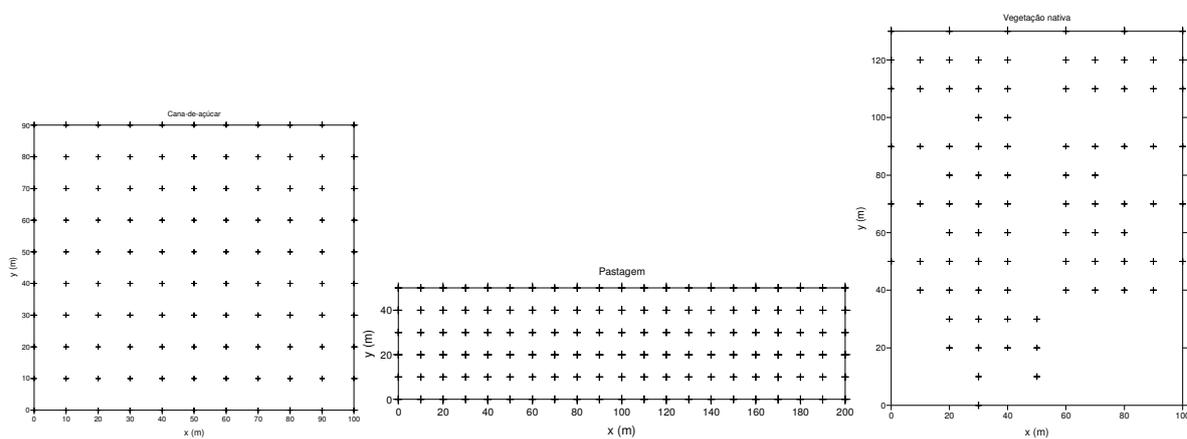


Figura 4. Malha de pontos amostrados em cada área representados pelas cruzetas.

Foram analisados os seguintes atributos do solo: densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e macronutrientes. As análises dos atributos físicos e químicos do solo foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos e de Plantas da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal.

Para a determinação da porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo foram coletadas amostras indeformadas com cilindros de $50,68 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$, com bordas cortantes, introduzido no solo com auxílio de amostrador Uhland até o preenchimento total do anel, à profundidade desejada (0-0,1 m). A porosidade total foi obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a $110 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 h (EMBRAPA, 1997). A microporosidade do solo foi determinada pelo método da mesa de tensão com uma coluna de água de 60 cm de altura, segundo EMBRAPA (1997). Pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, obteve-se a macroporosidade. A densidade do solo foi calculada pela relação entre a massa seca a $110 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 h da amostra de solo do cilindro volumétrico e o volume do mesmo cilindro (EMBRAPA, 1997).

Para determinação da análise química do solo foram coletadas amostras em campo, na profundidade de 0 a 0,1 m, com auxílio de um trado tipo holandês, acondicionadas em sacos plásticos e secas ao ar por um período mínimo de 72 horas. Após este período, foram destorroadas e passadas pela peneira de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar. A seguir, foram levadas ao laboratório para serem realizadas as análises de rotina conforme RAIJ et al. (1987). Na caracterização química do solo, foram determinados: teores de potássio, cálcio, magnésio, fósforo, acidez ativa (pH em cloreto de cálcio) e acidez potencial (H + Al) e matéria orgânica (MO), segundo RAIJ et al. (1987). Com resultados obtidos da análise química, calcularam-se a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e a porcentagem de saturação por bases (V%).

Os resultados das análises físicas e químicas do solo foram submetidos à análise estatística descritiva obtendo-se média, mediana, desvio-padrão, coeficiente de variação, mínimo, máximo, assimetria e curtose com o uso do pacote estatístico SAS (SCHLOTZHAVER & LITTELL, 1997).

A observação dos valores extremos (máximos e mínimos) e distribuição de frequência revelaram a existência de valores atípicos para os atributos químicos em estudo. Após a verificação da inexistência de erros dos dados de laboratório, optou-se pela reedição dos dados extremos, por meio da média de seus vizinhos.

A análise de dependência espacial foi realizada aplicando-se técnicas de geoestatística (VIEIRA et al., 1983), utilizando-se de semivariogramas e, quando apresentaram estrutura de dependência espacial, foram ajustados a um modelo matemático para definição de seus parâmetros. Em caso de dúvidas entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, foi utilizada a técnica de validação cruzada. Valores interpolados por krigagem foram usados, juntamente com os valores medidos, para construção de mapas dos atributos estudados. O programa utilizado para avaliação da dependência espacial foi o GS+ (ROBERTSON, 1998), e o SURFER (1999), na confecção dos mapas. A análise do grau de dependência espacial dos atributos foi realizada segundo CAMBARDELLA et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte, os semivariogramas que têm um efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, moderada entre 25% e 75%, e fraca quando for maior que 75%.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo

Inicialmente foram identificados os valores atípicos e extremos (“outliers”), representado pelo “box-plot” (Figura 5), que posteriormente foram excluídos para um melhor ajuste da distribuição dos dados.

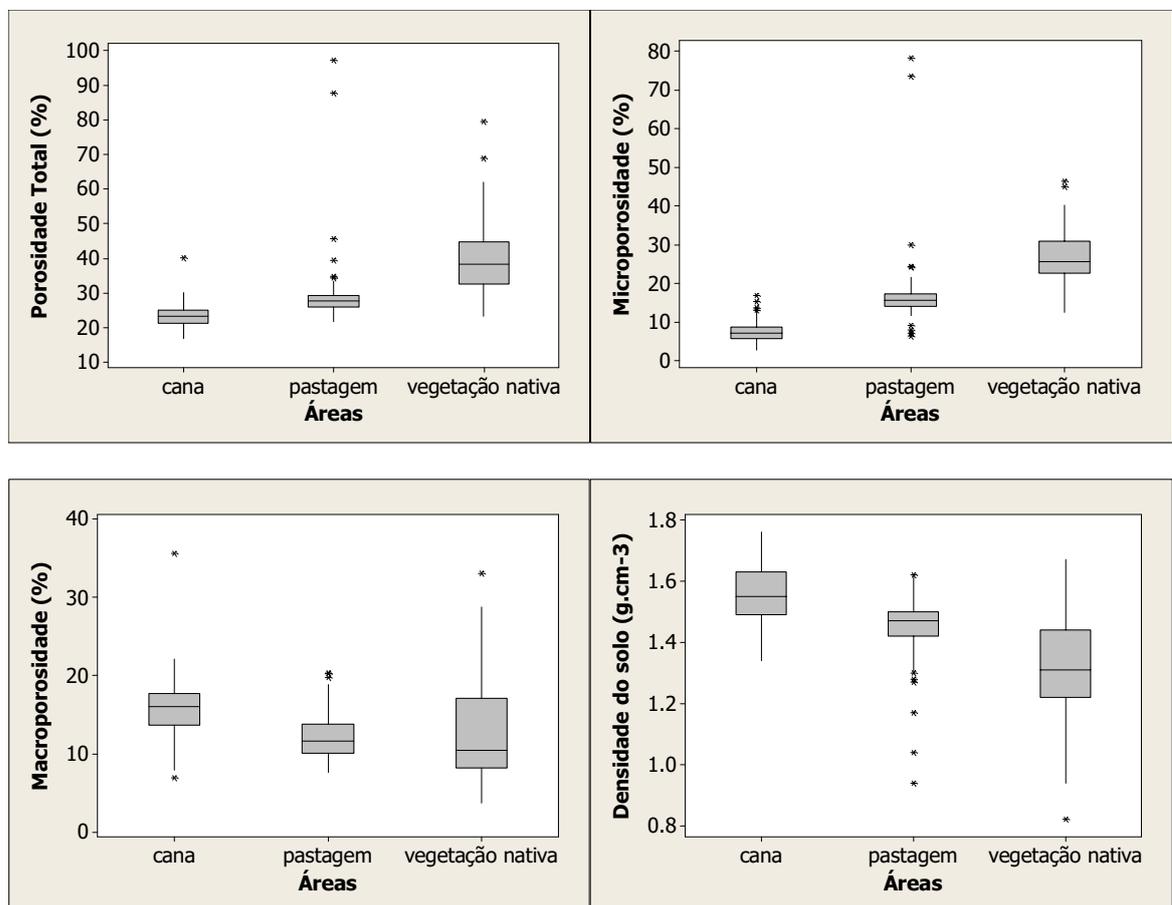


FIGURA 5. Análise “box-plot” dos atributos físicos do solo nas áreas de cana-de-açúcar, pastagem e vegetação nativa. * valores extremos e atípicos.

A área de pastagem foi a que apresentou maiores quantidades de dados discrepantes nos quatro atributos físicos em questão, em comparação às áreas de cana-de-açúcar e vegetação nativa. O único atributo que não apresentou dados discrepantes foi a densidade do solo na área de cana-de-açúcar. As observações discrepantes ou assimétricas podem ser classificadas em “atípicos” – pontos que apresentam valores compreendidos entre 1,5 e 3 vezes os valores correspondentes à faixa de 25 a 75% dos valores, e “extremos” – pontos superiores a 3 vezes os valores correspondentes à faixa de 25 a 75% dos valores (ISAAKS & SRISVASTAVA, 1989).

Os valores correspondentes à média e à mediana dos atributos do solo (Tabela 1) estão bem próximos, demonstrando uma ligeira assimetria, porém, caracterizando uma proximidade à distribuição normal dos dados. A análise da distribuição dos dados foi feita com base na seguinte classificação: coeficiente de assimetria, $(CA) = 0$; (distribuição simétrica); $(CA) > 0$; (distribuição assimétrica à direita) e $(CA) < 0$; (distribuição assimétrica à esquerda).

Os valores da média e da mediana indicam outra análise: se a média $>$ mediana (distribuição assimétrica à direita); se a média $<$ mediana (distribuição assimétrica à esquerda), se mediana = média (distribuição simétrica). Os atributos que apresentaram uma ligeira assimetria negativa foram a macroporosidade (-0,36; média $<$ mediana) na área de cana-de-açúcar e a densidade do solo (-0,38; média $<$ mediana) na área de pastagem, ou seja, tiveram seus dados concentrados à esquerda. A densidade do solo na área de vegetação nativa apresentou valor de média e mediana igual ($1,32 \text{ g.cm}^{-3}$), e um valor de assimetria próximo de zero (0,5), caracterizando uma simetria dos dados. O restante dos atributos apresentou ligeira assimetria concentrados à direita. Com exceção da microporosidade na área de vegetação nativa, que apresentou certo distanciamento entre a média (12,37 %) e a mediana (10,87 %), comprovado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov como uma distribuição não-normal (Tabela 1). Assim, demonstra-se a importância da geoestatística no complemento da estatística clássica, para uma interpretação dos dados com mais clareza e certeza (JAKOB, 1989).

Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos do solo estudados, em área de cana-de-açúcar, pastagem e vegetação nativa, na profundidade de 0-0,1 m em um Argissolo Vermelho Amarelo.

Atributo	Média	Mediana	dp ¹	Mínimo	Máximo	CV ²	Assimetria	Curtose	d ³
cana-de-açúcar									
Micro ⁴	7,33	7,19	1,81	4,35	12,06	24,69	0,35	-0,45	0,15
Macro ⁵	15,76	15,99	2,87	7,91	22,12	18,22	-0,36	-0,04	0,08
PT ⁶	23,22	23,11	2,90	16,81	29,99	12,49	0,18	-0,32	0,15
Ds ⁷	1,56	1,55	0,09	1,34	1,76	5,79	0,09	-0,55	0,15
pastagem									
Micro	15,72	15,55	1,93	11,75	20,62	12,28	0,46	-0,13	0,15
Macro	11,82	11,58	2,31	7,99	17,07	19,50	0,31	-0,67	0,15
PT	27,41	27,32	2,43	21,65	33,46	8,85	0,13	-0,05	0,15
Ds	1,46	1,47	0,06	1,33	1,60	3,76	-0,38	-0,01	0,10
vegetação nativa									
Micro	26,55	25,31	5,39	14,46	36,95	20,29	0,16	-0,66	0,08
Macro	12,37	10,87	5,26	4,02	24,26	42,55	0,62	-0,67	0,01**
PT	38,35	38,09	8,00	23,21	54,69	20,86	0,20	-0,81	0,15
Ds	1,32	1,32	0,15	1,00	1,67	11,19	0,05	-0,56	0,15

¹desvio padrão; ²coeficiente de variação (%); ³teste de normalidade; **significativo a 5% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov; ⁴microporosidade (%); ⁵macroporosidade (%); ⁶porosidade total (%); ⁷densidade do solo (g.cm⁻³)

A normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística; é conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as análises (WEBSTER, 1985; CRESSIE, 1991).

Observando os valores das médias dos atributos, nota-se que a maior média de porosidade total (PT) foi verificada na área de vegetação nativa (38,35 %), corroborando com os dados de LIMA et al. (2009), que trabalharam em áreas de vegetação nativa e pastagem em Argissolo. Os mesmos autores explicam que esses valores podem estar associados às melhores condições estruturais do solo sob essa cobertura vegetal. A área de cana-de-açúcar foi a que apresentou menor média de porosidade total (23,22 %). Esses dados foram encontrados também por SOUZA & ALVES (2003), em áreas de vegetação natural, pastagem e cultivo convencional em Latossolos. Em sistema de preparo convencional, a camada superficial é revolvida seguidamente por arações e gradagens, o que incrementa a porosidade do solo nessa

camada, apesar da pequena capacidade de ser mantida indefinidamente após o revolvimento (BORTOLUZZI et al., 2008).

De acordo com KIEHL (1979), um solo em condições ideais deve apresentar 1/3 da porosidade total formada por macroporos e os 2/3 restantes por microporos, estabelecendo uma relação macroporos/microporos igual a 0,5. CAMILOTTI et al. (2006), BRITO et al. (2006), SOUZA et al. (2005) e SOUZA et al. (2006) encontraram valores de macroporosidade e microporosidade do solo em área de cana-de-açúcar dentro da faixa ideal descrita por KHIEL (1979). Nas áreas de pastagem e vegetação nativa essa relação foi de 0,75 e 0,46, respectivamente. Já na área de cana-de-açúcar essa relação foi de 2,15, devido à maior presença de macroporos em relação aos microporos, obtendo valores contrários aos dos autores acima citados. Os valores altos para a densidade do solo ($1,56 \text{ g.cm}^{-3}$) e macroporosidade (15,76 %), e baixo para a microporosidade (7,33 %) estão relacionados com o tráfego intensivo de máquinas na cultura da cana-de-açúcar.

Segundo SALIRE et al. (1994) e HAKANSSON & VOORHEES (1997), sistemas com pouco revolvimento do solo e tráfego de máquinas pesadas, podem promover compactação do solo até 0,4 m. Estes dados apenas confirmam que as práticas abusivas de manejo, principalmente em áreas de plantio convencional, podem levar à degradação do solo, muitas vezes causando danos que irreversíveis.

Adotaram-se os limites de coeficiente de variação (CV%) propostos por WARRICK & NIELSEN (1980), para a classificação de variáveis do solo sendo: baixa: (CV%) < 12%; média: entre 12% e 60% e alta: (CV%) > 60%. Esse índice é de grande importância para definição do número mínimo de amostras que devem ser retiradas para se obter um valor médio representativo. O CV indica a variabilidade dos dados em relação à média, quanto menor, mais homogêneo é o conjunto de dados. No entanto, a aplicação apropriada dos princípios da estatística clássica para realização de inferências deste tipo exige a observância de um conjunto de pressupostos, dentre os quais, a existência da distribuição normal (MELO FILHO et al., 2006).

A densidade do solo (Ds) apresentou um baixo CV (< 12%) nas três áreas em estudo, com um valor mínimo de 3,76% na área de pastagem. De acordo com WARRICK & NIELSEN (1980), dados de Ds e porosidade tendem a apresentar CV em torno dos 10%. Esses dados de Ds estão na mesma faixa de valores encontrados por LIMA et al. (2009), em Argissolo cultivado com pastagem e vegetação natural. SOUZA et al. (2004a) encontraram em uma área de cana-de-açúcar um CV de Ds (5,45%) próximo ao encontrado no estudo (5,79%). Cabe ressaltar que, segundo TRANGMAR et al. (1985), a densidade do solo é uma propriedade inerente ao processo evolutivo que o solo sofre com o passar dos anos, sendo assim, além do seu comportamento natural, existem fatores que influenciam no seu comportamento espacial, como, por exemplo, o histórico de cultivos agrícolas praticados num passado remoto, o preparo e a cobertura do solo, o tipo de solo, o regime de chuvas, entre outros.

Os demais atributos apresentaram um CV médio (entre 12% e 60%), com destaque para a macroporosidade na área de vegetação nativa que apresentou o maior valor (42,55%). Este atributo também apresentou a maior amplitude dos dados, variando de 4,02 a 24,26 %. A análise da amplitude dos valores máximos e mínimos fornece um entendimento da variabilidade dos dados apresentados. De acordo com MONTANARI et al. (2008), mesmos que os valores de CV sejam médios, não são bons indicadores da variabilidade espacial dos atributos do solo, pois podem ocorrer no campo valores extremamente altos ou baixos.

Os resultados da análise geoestatística encontram-se na Tabela 2, e os mapas de interpolação de dados e semivariogramas estão apresentados nas Figuras 6, 7 e 8. Os modelos ajustados aos semivariogramas experimentais das variáveis em questão foram utilizados para obter estimativas nos locais não amostrados no processo de interpolação denominado krigagem.

A maioria dos atributos apresentou dependência espacial, ajustando-se todos ao modelo esférico (Tabela 2 e Figuras 6, 7 e 8), e um coeficiente de determinação (R^2) acima de 81,5%. O atributo microporosidade na área de cana-de-açúcar obteve o maior coeficiente de determinação (97,3%). MCBRATNEY & WEBSTER (1986) estudaram

modelos de ajuste do semivariograma para as propriedades do solo e relataram que o modelo esférico é um dos mais encontrados. Dados semelhantes foram encontrados por SOUZA et al. (2008), CAMPOS et al. (2007), LIMA et al. (2006a), SOUZA et al. (2004b).

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para os atributos físicos do solo, em área de cana-de-açúcar, pastagem e vegetação nativa, na profundidade de 0 -0,1 m em um Argissolo Vermelho Amarelo.

Atributo	Modelo	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ +C ₁)	Alcance (m) (a)	R ² (1)	IDE (2)
cana-de-açúcar						
Micro ⁽³⁾	Esférico	1,79	6,05	82,40	97,30	29,59
Macro ⁽⁴⁾	Esférico	4,36	8,72	83,10	91,00	49,99
PT ⁽⁵⁾	Esférico	4,50	9,00	73,20	88,30	49,99
Ds ⁽⁶⁾	Esférico	0,003	0,01	73,60	93,90	32,36
pastagem						
Micro	Esférico	1,60	3,45	45,70	85,60	46,42
Macro	EPP ⁽⁷⁾	0,45	-	-	-	-
PT	Esférico	2,21	4,42	55,90	91,40	49,99
Ds	Esférico	0,002	0,001	58,10	89,30	41,64
vegetação nativa						
Micro	EPP	3,26	-	-	-	-
Macro	Esférico	12,09	30,64	49,00	85,50	39,46
PT	EPP	4,9	-	-	-	-
Ds	Esférico	0,01	0,02	35,00	81,50	36,70

(1) R²: Coeficiente de determinação (%); (2) IDE: Índice de dependência espacial (C₀/(C₀+C₁)×100); (3) microporosidade (%); (4) macroporosidade (%); (5) porosidade total (%); (6) densidade do solo (g.cm⁻³); (7) Efeito pepita puro

Apresentaram efeito pepita puro (EPP), isto é, semivariograma sem estrutura definida, a macroporosidade na área de pastagem e a microporosidade e porosidade total na área de vegetação natural. Isto quer dizer que não há dependência espacial para distâncias maiores, que a menor distância de amostragem, distribuindo-se de forma aleatória no espaço, portanto, não foi possível ajustar um modelo teórico aos semivariogramas experimentais desses atributos.

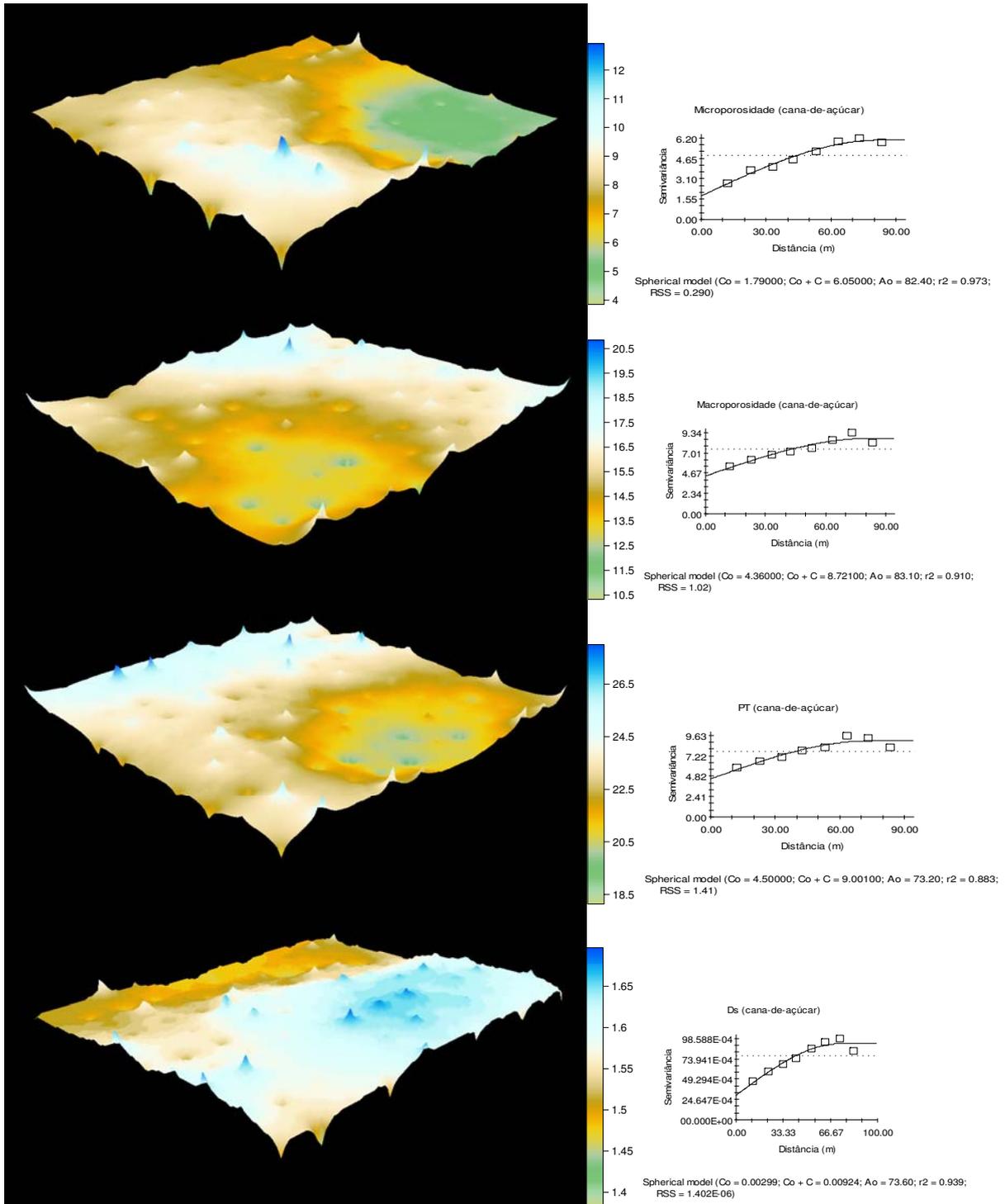


Figura 6. Mapas de interpolação de dados e semivariogramas dos atributos físicos do solo em área de cana-de-açúcar

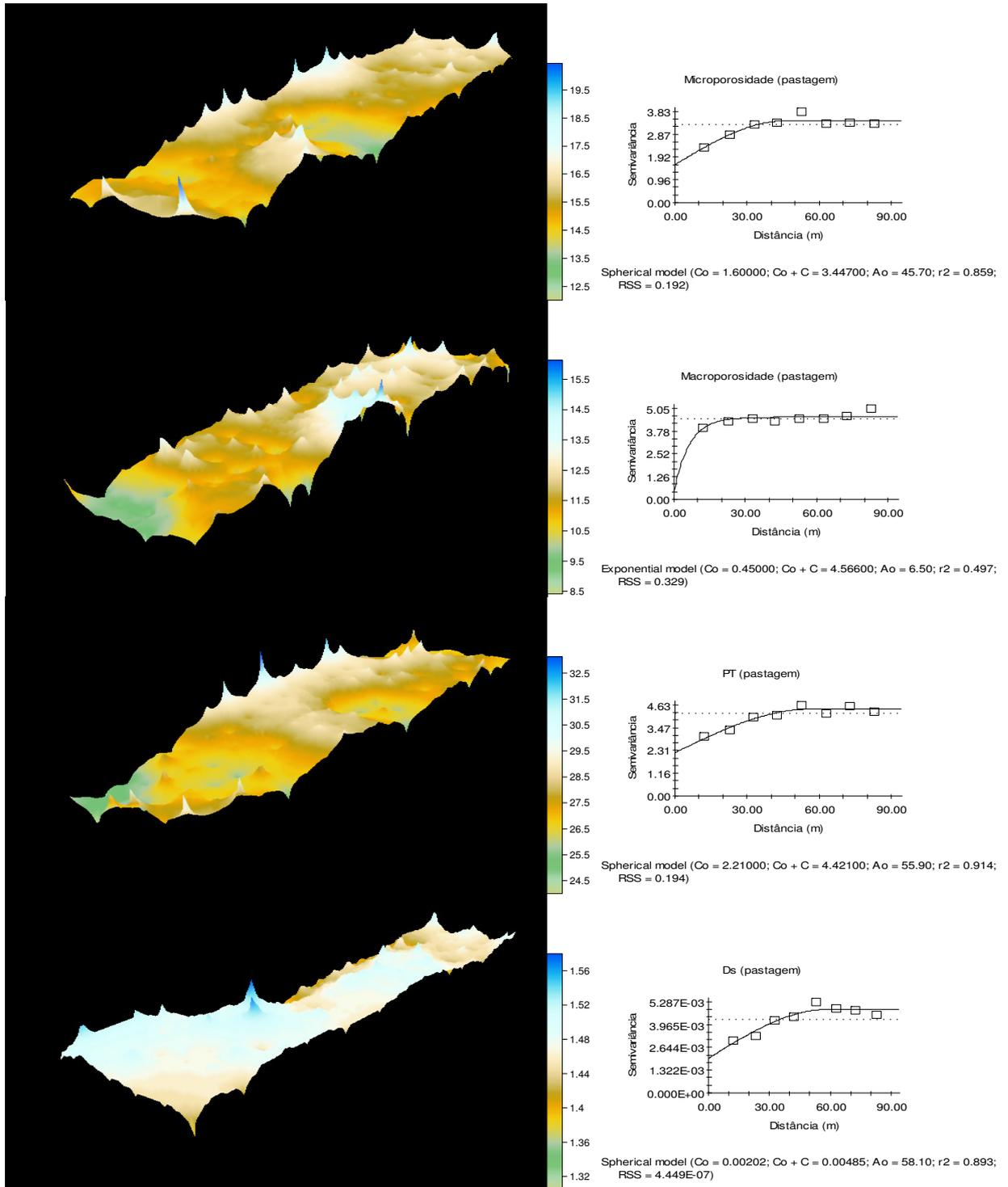


Figura 7. Mapas de interpolação de dados e semivariogramas dos atributos físicos do solo em área de pastagem

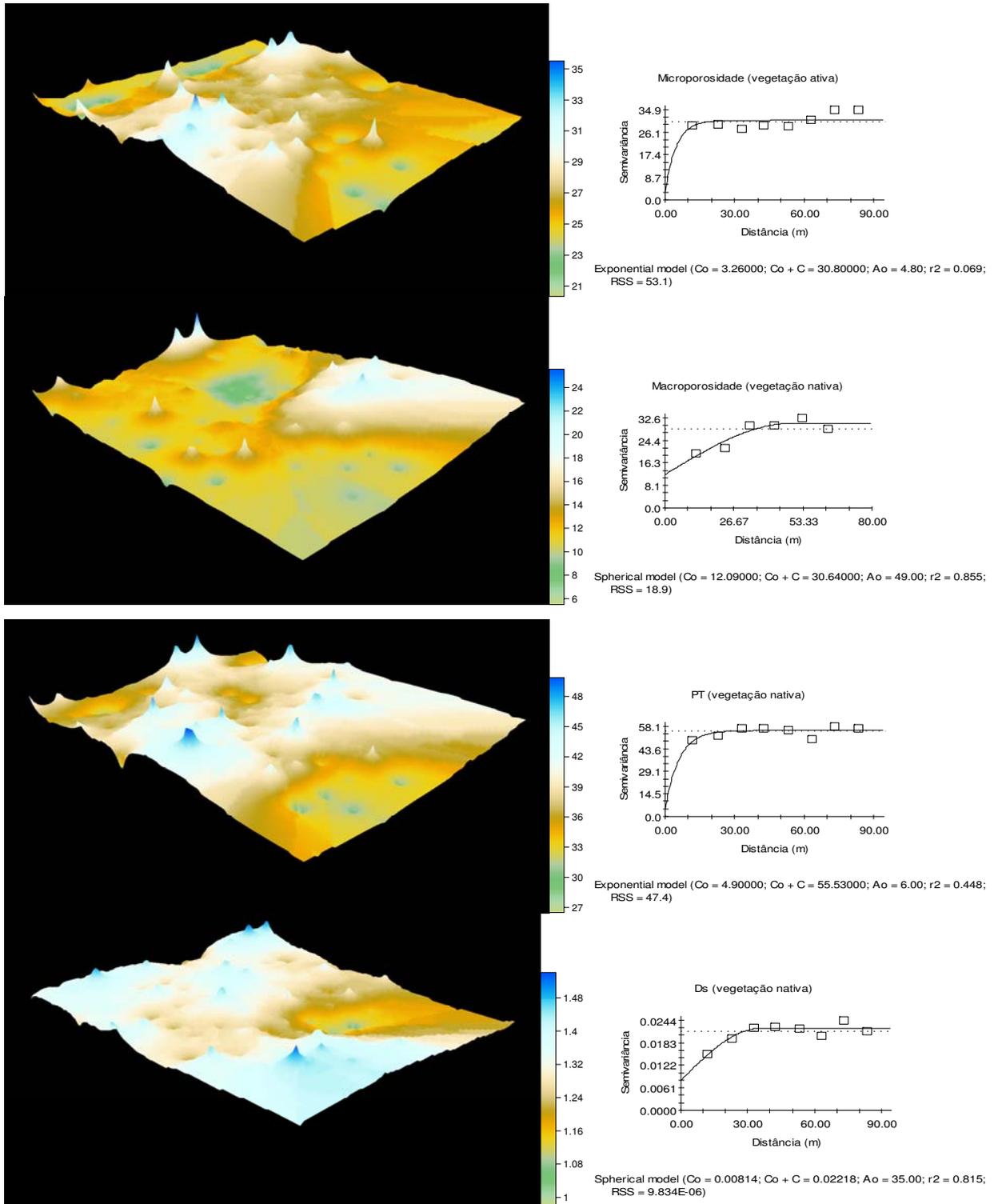


Figura 8. Mapas de interpolação de dados e semivariogramas dos atributos físicos do solo em área de vegetação nativa.

Segundo CAMBARDELLA et al. (1994), o EPP é importante porque indica distribuição casual, e que pode ser devido a erros de medidas ou microvariação não-detectada. Neste caso, pode ser aplicada a estatística clássica, que leva em conta apenas a média dos valores do espaço amostral no momento da tomada decisões.

Os maiores alcances foram atingidos pelos atributos do solo na área de cana-de-açúcar, apresentando os seguintes valores: 82,4 m; 83,1 m; 73,20 m e 73,6 m, para as variáveis microporosidade, macroporosidade, porosidade total e densidade do solo, respectivamente (Tabela 2 e Figuras 6). GREGO & VIEIRA (2005) dizem que esse fato pode estar associado ao preparo do solo convencional, onde os equipamentos de preparo, arado e grade movimentam demasiadamente a camada superior afetando sua estrutura original, tornando pontos entre si mais semelhantes do que os mais distantes. A área de pastagem apresentou os seguintes alcances: 45,7 m; 55,9 m e 58,1 m, para as variáveis microporosidade, porosidade total e densidade do solo. O alcance representa a distância em que os pontos estão correlacionados entre si, portanto o alcance fornece um maior detalhamento das áreas em estudo, possibilitando em futuras amostragens usar o alcance de dependência espacial para o planejamento do número de coletas de amostras. A variável macroporosidade apresentou EPP, portanto, o alcance é menor que o menor espaçamento entre as amostras (10 m). Dado semelhante em área de pastagem foi encontrado por LIMA et al. (2009). Na área de vegetação nativa foram encontrados os seguintes alcances: 49,0 m e 35,0 m, para as variáveis macroporosidade e densidade do solo, respectivamente. As variáveis microporosidade e porosidade total não foram possíveis fazer o ajuste dos semivariogramas, pois apresentaram EPP. LIMA et al. (2009) encontraram dados inversos aos encontrados na área de vegetação nativa.

Nas três áreas, o índice de dependência espacial (IDE) apresentou-se moderado para todos os atributos (entre 25 e 75%), de acordo com CAMBARDELLA et al. (1994). Os atributos porosidade total e macroporosidade na área de cana-de-açúcar; e porosidade total na área de pastagem apresentaram o mesmo valor de IDE (49,99%). Portanto, as distribuições dos atributos físicos em questão não são aleatórias. CORRÊA

et al. (2009) encontraram dados semelhantes para os atributos físicos do solo sob área de cultivo de trigo. ZHAO et al. (2007) trabalhando sob área de pastagem, também encontraram um índice de dependência moderada para os atributos físicos do solo. Todos os semivariogramas mostrados (Figuras 6, 7 e 8), com exceção dos que apresentara EPP, indicam estacionaridade de ordem 2 para o respectivo atributo, pois cada um apresenta patamar claro e bem definido.

Observando os mapas de interpolação de dados na área de cana-de-açúcar (Figura 6), nota-se que nos locais que apresentaram menores faixas (4 a 8 %) de valores de microporosidade, apresentaram faixa de valores (16 a 20 %) mais altos de macroporosidade. Já a densidade do solo, apresentou duas faixas bem definidas de valores, uma variando de 1,55 a 1,65 g.cm⁻³, e outra variando de 1,45 a 1,52 g.cm⁻³. Esta faixa de área com valores mais altos de densidade do solo foi verificada em campo que já havia perdido parte do horizonte A, apresentado evidências do horizonte B textural, rico em argila, típico de um Argissolo. Na área de pastagem os mapas (Figura 7) evidenciam uma uniformidade nos valores, variando muito pouco. A microporosidade e porosidade total apresentaram na maior parte da área valores que variaram de 14 a 17 % e 26 a 28 %, respectivamente. A densidade do solo apresentou maiores valores nas áreas onde se observaram em campo maiores tráfegos de animais durante o pastejo. De acordo com VZZOTTO et al. (2000), o pisoteio animal ocasiona redução da porosidade total e aumento da densidade do solo nos primeiros cinco centímetros do solo. Na área de vegetação nativa (Figura 8), a faixa predominante variou de 10 a 20% com a variável macroporosidade. A faixa da área que apresentou valores variando de 1,16 a 1,24 g.cm⁻³ é onde os animais entram na mata para buscar água durante o pastejo, podendo comprovar que esse hábito dos animais não contribuiu para um aumento da densidade do solo, comparando com o restante da área, que apresentou valores mais altos.

Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo

Os valores atípicos e extremos (*outliers*) estão representados pelo gráfico “box-plot” (Figuras 9 e 10), para um melhor ajuste da distribuição dos dados.

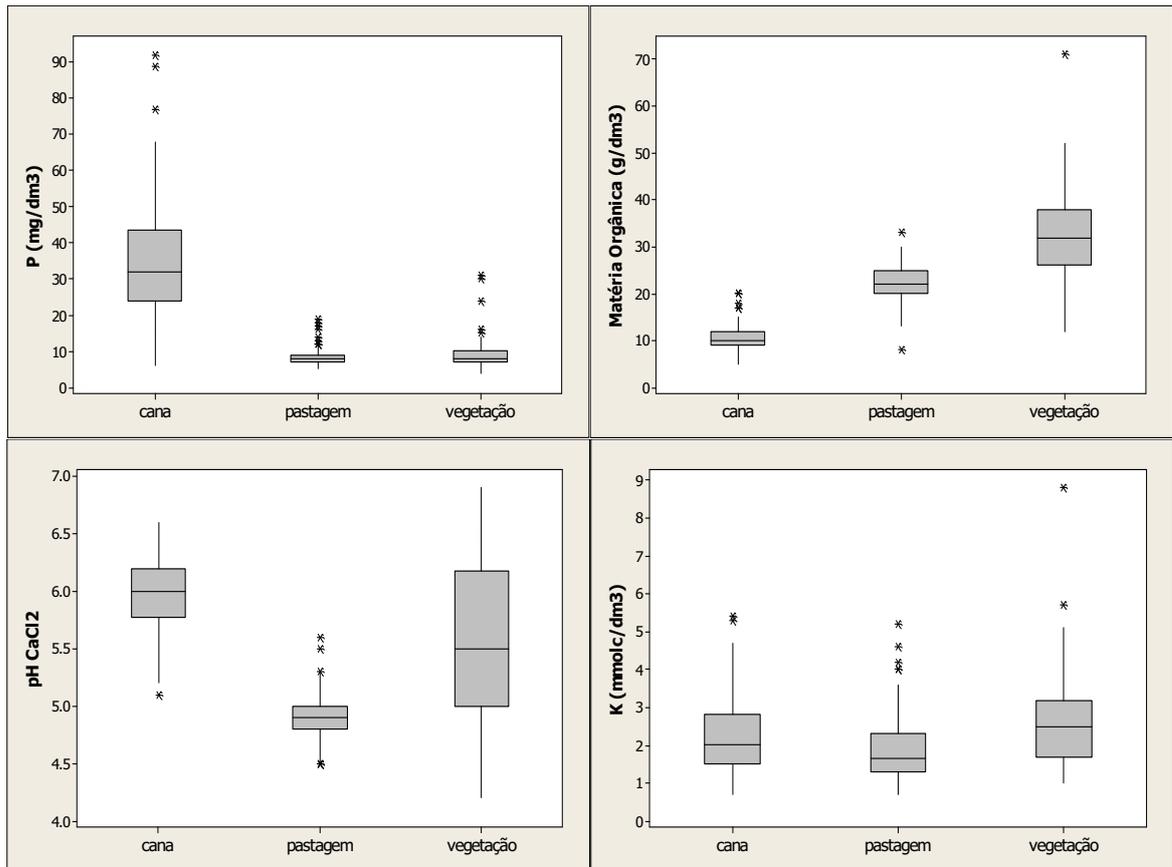


Figura 9. Análise “box-plot” dos atributos químicos do solo nas áreas de cana-de-açúcar, pastagem e vegetação nativa. * valores extremos e atípicos.

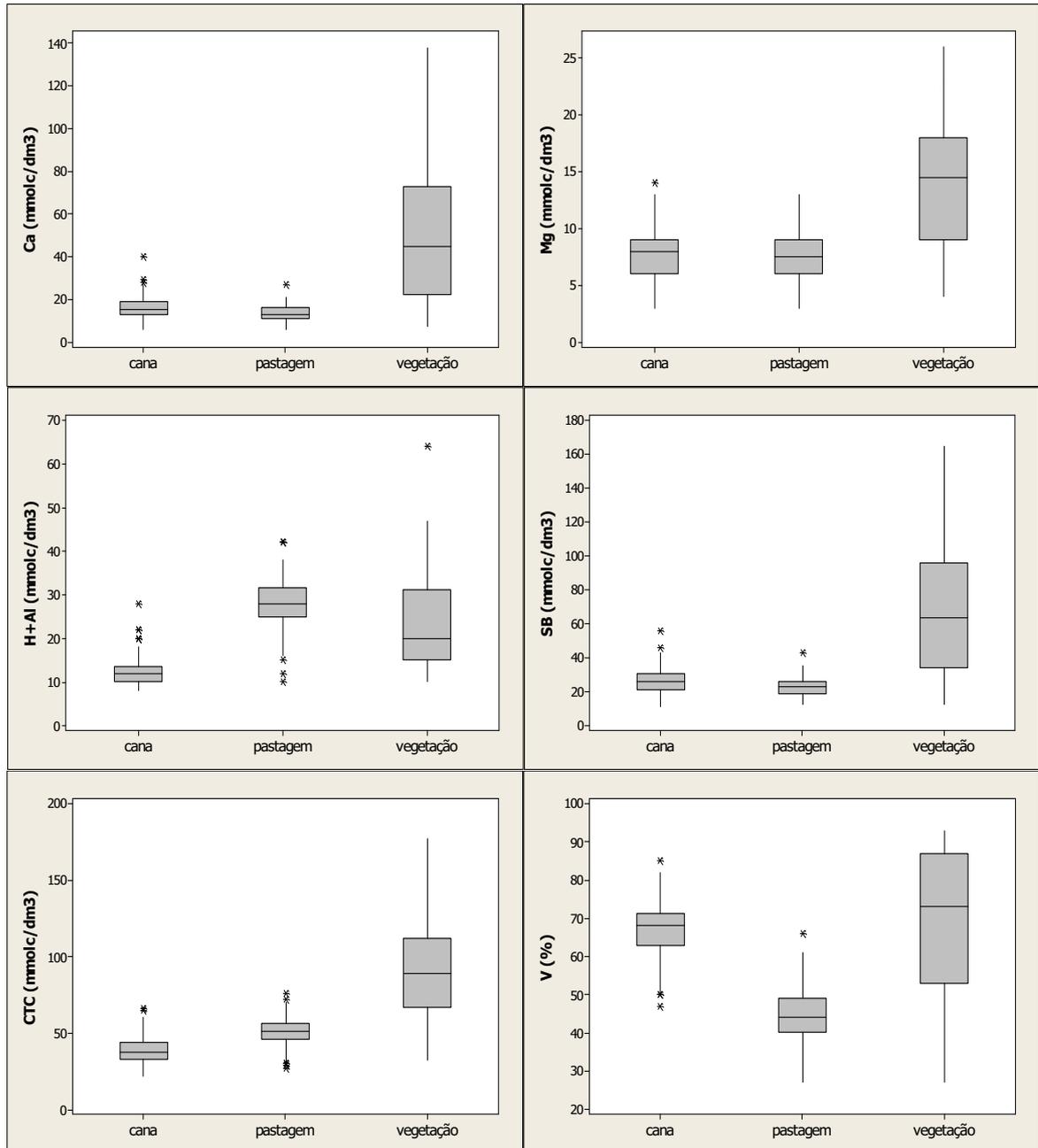


Figura 10. Análise “box-plot” dos atributos químicos do solo nas áreas de cana-de-açúcar, pastagem e vegetação nativa. * valores extremos e atípicos.

A área de vegetação nativa apresentou seis atributos químicos com ausência de dados discrepantes. São eles: pH, Ca, Mg, SB, CTC e V. A pastagem apenas apresentou ausência de “outliers” no atributo Mg. Já a área de cana-de-açúcar apresentou na sua totalidade de atributos químicos a presença dos “outliers”.

Os resultados das análises estatísticas descritivas encontram-se na Tabela 3. Os valores de média e mediana da maioria dos atributos estão bem próximos, porém apresentaram uma ligeira assimetria para os atributos químicos em estudo. Segundo ISAAKS & SRIVASTAVA (1989) o coeficiente de assimetria é mais sensível a valores extremos do que a média e o desvio padrão, uma vez que um único valor pode influenciar fortemente o coeficiente de assimetria, pois os desvios entre cada valor e a média são elevados à terceira potência. De acordo com os valores do coeficiente de assimetria, podemos observar que prevaleceu a assimetria concentrada à direita ($CA > 0$), muito comum em atributos químicos e físicos do solo, corroborando com dados obtidos por SOUZA et al. (2008) em área de pastagem em um Argissolo Vermelho-Amarelo e por ZANÃO JÚNIOR et al. (2007) em um Latossolo Vermelho sob área de cultivos anuais.

As variáveis P e K na área de cana-de-açúcar, K e H+Al na área de pastagem e Ca, H+Al, SB e V na área de vegetação nativa apresentaram um distanciamento entre os valores de média e mediana, altos valores de coeficiente de variação, sendo comprovado como uma distribuição não-normal pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. CORÁ et al. (2004), estudando a variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cultivo de cana-de-açúcar, encontraram normalidade somente para a CTC.

Alguns atributos apresentaram grande amplitude dos dados, como é o caso do Ca na área de vegetação nativa, variando de 9 a 106 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$; do P na área de cana-de-açúcar, variando de 12 a 64 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$; e do K na área de pastagem, variando de 0,8 a 3,0 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$. O mesmo foi observado para os demais atributos, mas com menor amplitude. Essa grande amplitude de valores revelou os problemas que podem ocorrer quando se usa a média dos valores dos atributos como base para a tomada de decisão sobre a realização do manejo químico do solo, ou seja, em alguns locais, a dose recomendada de fertilizante ou corretivo estará subdimensionada; em outros, será ade-

Tabela 3. Estatísticas descritivas dos atributos químicos do solo estudados, em área de cana-de-açúcar, pastagem e vegetação nativa, na profundidade de 0-0,1 m em um Argissolo Vermelho Amarelo.

Atributos	Média	Med ⁰	dp ¹	CV ²	Mín ³	Máx ⁴	Ass ⁵	Curt ⁶	d ⁷
cana-de-açúcar									
P (mg/dm ³)	33.98	31.50	12.50	36.79	12.00	64.00	0.66	-0.33	0.03**
MO (g/dm ³)	10.10	10.00	2.04	20.21	5.00	15.00	0.30	0.06	0.15
pH	5.99	6.00	0.30	4.94	5.40	6.60	-0.15	-0.66	0.15
K (mmol _c /dm ³)	2.25	2.00	0.88	39.05	1.00	4.70	0.86	0.03	0.01**
Ca (mmol _c /dm ³)	15.86	15.00	4.00	25.20	6.00	27.00	0.31	-0.16	0.15
Mg (mmol _c /dm ³)	7.55	8.00	2.26	29.90	4.00	13.00	0.45	-0.30	0.15
H+Al (mmol _c /dm ³)	12.27	12.00	2.28	18.62	9.00	18.00	0.81	0.11	0.12
SB (mmol _c /dm ³)	25.75	25.50	6.08	23.63	15.00	40.00	0.34	-0.59	0.15
CTC (mmol _c /dm ³)	38.51	37.00	7.63	19.82	22.00	60.00	0.50	-0.19	0.07
V (%)	66.77	68.00	6.40	9.59	50.00	82.00	-0.52	0.02	0.15
pastagem									
P (mg/dm ³)	8.08	8.00	1.42	17.60	5.00	11.00	0.43	-0.46	0.15
MO (g/dm ³)	22.23	22.00	3.49	15.69	13.00	30.00	-0.18	-0.12	0.15
pH	4.89	4.90	0.16	3.30	4.50	5.20	-0.26	-0.23	0.15
K (mmol _c /dm ³)	1.72	1.60	0.55	31.82	0.80	3.00	0.51	-0.61	0.02**
Ca (mmol _c /dm ³)	13.28	13.00	3.18	23.92	6.00	21.00	0.06	-0.58	0.15
Mg (mmol _c /dm ³)	7.47	8.00	1.91	25.58	3.00	13.00	0.41	0.24	0.15
H+Al (mmol _c /dm ³)	28.95	28.00	4.99	17.24	17.00	38.00	0.21	-0.42	0.04**
SB (mmol _c /dm ³)	22.57	23.00	5.10	22.58	12.00	35.00	0.02	-0.50	0.15
CTC (mmol _c /dm ³)	52.07	52.00	7.17	13.78	38.00	69.00	0.40	-0.39	0.15
V (%)	43.96	44.00	6.51	14.80	27.00	61.00	-0.09	0.06	0.15
vegetação nativa									
P (mg/dm ³)	8.51	8.00	2.19	25.73	4.00	14.00	0.22	-0.45	0.15
MO (g/dm ³)	32.02	32.00	9.51	29.71	12.00	52.00	0.15	-0.45	0.15
pH	5.55	5.50	0.69	12.51	4.20	6.90	-0.01	-0.95	0.15
K (mmol _c /dm ³)	2.50	2.45	1.01	40.23	1.00	5.10	0.69	-0.05	0.15
Ca (mmol _c /dm ³)	48.93	44.50	27.61	56.43	9.00	106.00	0.25	-1.27	0.01**
Mg (mmol _c /dm ³)	14.74	15.00	5.36	36.34	5.00	26.00	0.14	-0.82	0.15
H+Al (mmol _c /dm ³)	21.89	20.00	8.18	37.36	11.00	38.00	0.51	-1.02	0.01**
SB (mmol _c /dm ³)	64.67	62.00	34.20	52.88	12.00	134.00	0.21	-1.21	0.01**
CTC (mmol _c /dm ³)	87.95	88.50	28.60	32.51	32.00	147.00	0.11	-0.90	0.09
V (%)	69.18	73.00	18.99	27.45	27.00	93.00	-0.61	-0.80	0.01**

⁰ mediana; ¹ desvio padrão; ² coeficiente de variação (%); ³ mínimo; ⁴ máximo; ⁵ assimetria; ⁶ curtose; ⁷ teste de normalidade; ** significativo a 5% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov

quada e, em outros, poderá haver aplicação excessiva de determinado fertilizante ou corretivo. Isto resulta em prejuízos econômicos, tanto pela aplicação desnecessária, quanto pelo desequilíbrio entre as quantidades de nutrientes que serão disponibilizados para as plantas, além do efeito deletério que essa prática pode ocasionar sobre o meio ambiente (CORÁ et al., 2004).

Os maiores valores de média de MO, K, Ca, Mg, SB, CTC E V% foram observados na área de vegetação nativa e os maiores valores de média de P e pH, foram observados na área de cana-de-açúcar. O único atributo na área de pastagem que apresentou maior valor de média valor foi o H+Al. A área de cana-de-açúcar foi a que apresentou menor valor de MO ($10,1 \text{ g.dm}^{-3}$), isso ocorre porque nos sistemas de manejo com preparo convencional há um maior revolvimento do solo, diminuindo a quantidade de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, tendendo a reduzir o estoque de carbono e nitrogênio. Em contrapartida o maior valor de MO ($32,02 \text{ g.dm}^{-3}$) foi encontrado na área de vegetação nativa, devido ao não revolvimento do solo, à presença de grandes quantidades de resíduos vegetais na superfície e às menores taxas de decomposição, favorecendo um incremento no teor de MO, com isso a CTC também apresentou maior valor. A MO tem a propriedade de reter eletrostaticamente nutrientes com carga positiva, formando um composto organomineral estável, não permitindo que a infiltração da água arraste estes nutrientes no perfil abaixo. De acordo com SOUSA & LOBATO (2002), o teor de matéria orgânica apresentou valores baixos nas três áreas estudadas, sendo considerados valores altos acima de 52 g. dm^{-3} . O P apresentou em maiores níveis ($33,98 \text{ mg.dm}^{-3}$) na área de cana-de-açúcar devido à adubação mineral, já as demais áreas apresentaram valores próximos de 8 mg.dm^{-3} .

Apresentaram uma baixa variabilidade dos dados as variáveis: pH (4,94%) e V (9,59%), na área de cana-de-açúcar e pH (3,3%) na área de pastagem, de acordo com os limites do coeficiente de variação (CV) propostos por WARRICK & NIELSEN (1980). Em vários trabalhos foram encontrados CVs baixos para pH (CAVALCANTE et al. (2007); ZANÃO JÚNIOR et al. (2007); SCHLINDWEIN & ANGHIONONI (2000); CARVALHO et al. (2003) e SOUZA et al. (2004a). Segundo SILVA & CHAVES (2001) e

SILVEIRA et al. (2000), com exceção do pH do solo, os atributos químicos apresentam maior variação que as propriedades físicas.

O restante dos atributos apresentou um CV médio dos dados dos atributos químicos. Dados semelhantes foram encontrados por OVALLES & REY (1994); SOUZA et al. (2004a); MARQUES JÚNIOR et al. (2008). Segundo WOLLENHAUPT et al. (1997), mesmo que os valores do CV sejam moderados, este não é necessariamente um bom indicador da variabilidade espacial dos atributos do solo, haja vista a ocorrência de locais no campo com valores extremamente altos ou baixos. O Ca e a SB na área de vegetação nativa apresentaram os maiores valores de CV 56,43 e 52,88 %, respectivamente; e os mesmos foram os que apresentaram maiores amplitudes dos dados.

Conforme VANNI (1998), um coeficiente de variação maior que 35 % revela que a série é heterogênea e a média tem pouco significado. Se for maior que 65 %, a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum. Porém, se for menor que 35 %, a série é homogênea e a média tem significado, podendo ser utilizada como representativa da série de onde foi obtida. Dessa forma, pode-se dizer que todos os atributos químicos na área de pastagem apresentaram série de dados homogênea. Os atributos que apresentaram um CV maior que 35% na área de cana-de-açúcar foram: o P (36,79%) e o K (39,05%); e na área de vegetação nativa: o K (40,23%), Ca (56,43%), Mg (36,34%), H+Al (37,36%) e a SB (52,88%). Portanto, esses atributos apresentaram série de dados heterogêneos e a média tem pouco significado.

A maior parte dos atributos do solo analisados apresentou dependência espacial, ajustando-se ao modelo esférico e ao exponencial (Tabela 4 e Figuras 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16). Estes modelos são muito comuns com atributos do solo, como já dito anteriormente. O modelo esférico é o mais utilizado e adaptado para descrever o comportamento de semivariogramas de propriedades de plantas e de solos (TRANGMAR et al., 1987; CAMBARDELLA et al., 1994; SALVIANO et al., 1998). Na área de vegetação nativa todas as variáveis ajustaram-se ao modelo esférico. A área de

pastagem foi a única que apresentou dependência espacial para todos os atributos avaliados, concordando com dados de SOUZA et al. (2008).

Os maiores alcances foram obtidos pelos atributos que apresentaram maior coeficiente de determinação (R^2). Na área de cana-de-açúcar a MO foi a que apresentou maior alcance (79,5 m; $R^2=98\%$), corroborando com dados de SOUZA et al. (2004b); na pastagem foi a H+Al (62,4 m, $R^2=99\%$), e na vegetação nativa foi o pH (93,9 m, $R^2=99\%$), discordando de dados encontrados por CAVALCANTE et al. (2007) que encontraram em área de vegetação um alcance de apenas 8,2 m. Portanto, nas áreas em que os atributos atingiram maiores alcances há uma maior continuidade na distribuição espacial desses atributos em comparação ao demais.

Apresentou efeito pepita puro (EPP) o Ca, Mg, SB e V na área de cana-de-açúcar, e o Mg, a SB e a CTC na área de vegetação nativa, portanto, há uma aleatoriedade dos dados, podendo utilizar a média para o cálculo de adubação para essas variáveis. CAMBARDELLA et al. (1994) sugerem que uma variável pode apresentar melhor estrutura espacial com adoção de um espaçamento menor de amostragem, e isto pode ser proposto para trabalhos futuros nessa área em estudo.

Neste trabalho, observou-se que em geral, as variáveis apresentaram moderado e forte índice de dependência espacial (IDE) nas três áreas, de acordo com os critérios estabelecidos por CAMBARDELLA et al. (1994). Quanto menor o IDE, menor o valor do efeito pepita e, conseqüentemente, mais bem arranjado espacialmente se encontra o atributo estudado (BERNER et al., 2007). A área de vegetação nativa apresentou IDE moderado para todos os atributos, concordando com dados de SALVIANO et al. (1998) e ROQUE et al. (2005); já na área de pastagem o IDE forte predominou entre os atributos do solo. SILVA et al. (2003) encontraram dados de IDE forte para a maioria dos atributos avaliados, em um Argissolo Vermelho Amarelo, sob cultivo de milho. Na área de cana-de-açúcar, os atributos P, pH e H+Al apresentaram um IDE forte; e a MO, K e CTC apresentaram um IDE moderado. MARQUES JÚNIOR et al. (2008) encontraram para todos os atributos químicos estudados, em um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar um IDE moderado.

Tabela 4. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para os atributos químicos do solo, em área de cana-de-açúcar, pastagem e vegetação nativa, na profundidade de 0 - 0,1 m em um Argissolo Vermelho Amarelo

Atributos	Modelo	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ +C ₁)	Alcance (m) (a)	R ²	IDE
cana-de-açúcar						
P (mg/dm ³)	exponencial	40,70	172,70	33,30	0,77	23,57
MO (g/dm ³)	esférico	2,71	5,68	79,50	0,98	47,71
pH	exponencial	0,01	0,07	33,00	0,85	14,29
K (mmol _e /dm ³)	esférico	0,41	0,92	60,10	0,95	44,57
Ca (mmol _e /dm ³)	EPP	7,76	-	-	-	-
Mg (mmol _e /dm ³)	EPP	3,62	-	-	-	-
H+Al (mmol _e /dm ³)	exponencial	2,56	11,20	41,40	0,82	22,86
SB (mmol _e /dm ³)	EPP	25,02	-	-	-	-
CTC (mmol _e /dm ³)	esférico	36,10	80,75	76,60	0,98	44,71
V (%)	EPP	40,28	-	-	-	-
pastagem						
P (mg/dm ³)	esférico	2,19	4,74	44,60	0,91	46,29
MO (g/dm ³)	esférico	0,01	8,69	19,40	0,67	0,12
pH	exponencial	0,002	0,03	26,40	0,79	6,40
K (mmol _e /dm ³)	esférico	0,01	0,26	18,60	0,65	4,30
Ca (mmol _e /dm ³)	exponencial	0,21	8,64	25,20	0,83	2,43
Mg (mmol _e /dm ³)	esférico	0,01	3,09	20,60	0,85	0,26
H+Al (mmol _e /dm ³)	esférico	13,45	32,96	62,40	0,99	40,81
SB (mmol _e /dm ³)	exponencial	1,05	21,24	26,4	0,79	4,94
CTC (mmol _e /dm ³)	exponencial	24,80	74,58	54,3	0,91	33,25
V (%)	exponencial	2,00	39,49	26,4	0,76	5,06
vegetação nativa						
P (mg/dm ³)	esférico	1,86	4,42	53,50	0,93	42,06
MO (g/dm ³)	esférico	29,70	63,37	77,20	0,88	46,87
pH	esférico	0,24	0,53	93,90	0,99	44,01
K (mmol _e /dm ³)	esférico	0,15	0,47	48,00	0,93	32,26
Ca (mmol _e /dm ³)	esférico	438,00	887,20	87,30	0,93	49,37
Mg (mmol _e /dm ³)	EPP	17,14	-	-	-	-
H+Al (mmol _e /dm ³)	esférico	44,80	89,61	82,10	0,93	49,99
SB (mmol _e /dm ³)	EPP	211,00	-	-	-	-
CTC (mmol _e /dm ³)	EPP	275,00	-	-	-	-
V (%)	esférico	134,30	268,70	80,90	0,90	49,98

⁽¹⁾R²: Coeficiente de determinação (%); ⁽²⁾IDE: Índice de dependência espacial (C₀/(C₀+C₁)x100)

Os mapas de interpolação de dados e os semivariogramas foram utilizados para ilustrar e estimar valores em locais não amostrados (Figuras 11 a 18). Observou-se um arranjo de distribuição espacial dos atributos mais estruturado nas áreas de cana-de-açúcar (Figuras 11, 12 e 13) e vegetação nativa (Figuras 16, 17 e 18).

Na área de cana-de-açúcar, foram observados maiores valores dos atributos analisados na parte esquerda dos mapas, correspondentes às distâncias aproximadas entre 0 e 50 m na direção do eixo das abscissas, o que possibilita, de um modo menos rigoroso, dividir a área em duas partes, com diferentes níveis de fertilidade. Entretanto, pode-se aplicar um método mais rigoroso, e subdividir em diversas áreas homogêneas, por exemplo, para aplicação de fertilizantes a taxas variáveis, proporcionando uma maior economia e um manejo mais eficiente. A faixa de valores de P que predomina na área de cana-de-açúcar (Figura 11) está entre 20 a 50 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. A MO está dividida em três áreas bem definidas, e os valores nestas áreas variam entre: 12-13; 9-11, 9 e 7,5 a 8,9 $\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Observando o mapa do pH, nota-se que há uma aparente relação espacial com a MO. As faixas de valores de pH acompanham as faixas de valores da MO; as áreas que possuem maiores teores de MO, o pH tende a apresentar valores mais baixos. Os maiores valores de CTC do solo (Figura 12) ocorrem nos locais onde os teores de MO são maiores, porque esta contribui para o maior desenvolvimento de cargas negativas no solo, e conseqüentemente, maior armazenamento de nutrientes. A faixa de valores predominante para o K foi 1 a 3 $\text{mmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$; H+Al foi de 9 a 17 $\text{mmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$. Na área de pastagem (Figuras 13, 14 e 15), observou-se uma distribuição espacial mais aleatória, comparando com as outras áreas de estudo. Isto pode ser confirmado observando os seus respectivos semivariogramas. A área de pastagem foi a que obteve menor alcance dos atributos químicos avaliados. Dentre os atributos, a H+Al foi o atributo que apresentou maior alcance (62,4 m) e seu mapa foi o único que apresentou uma distribuição mais homogênea. Segundo TRANGMAR et al. (1985), o alcance define o raio máximo para o qual amostras vizinhas são usadas para interpolação por técnicas de krigagem. Assim, baixos valores de alcance podem influir na qualidade das estimativas, uma vez que poucos pontos são usados para realização da interpolação.

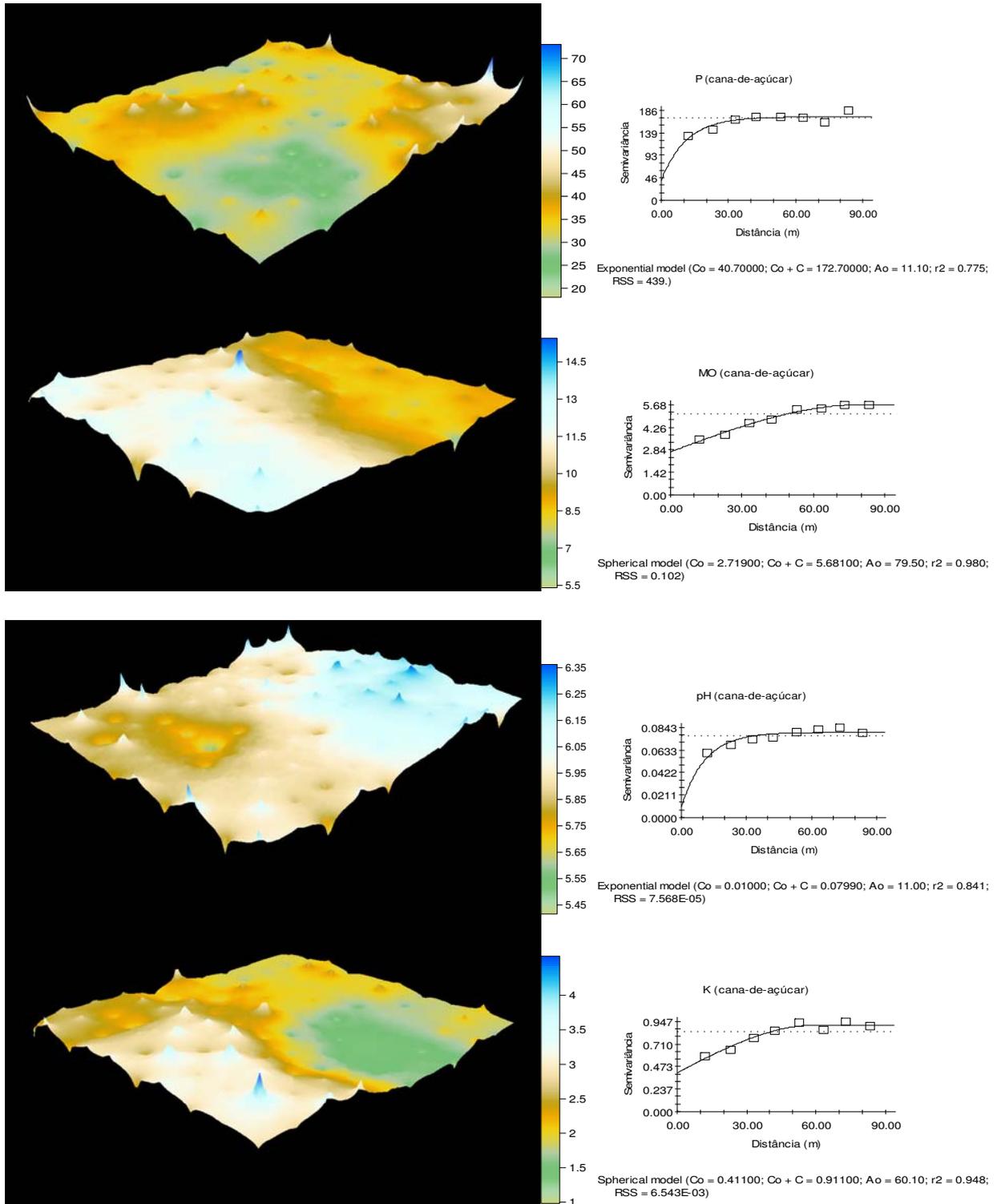


Figura 10. Mapas de interpolação de dados e semivariogramas dos atributos químicos do solo em área de cana-de-açúcar.

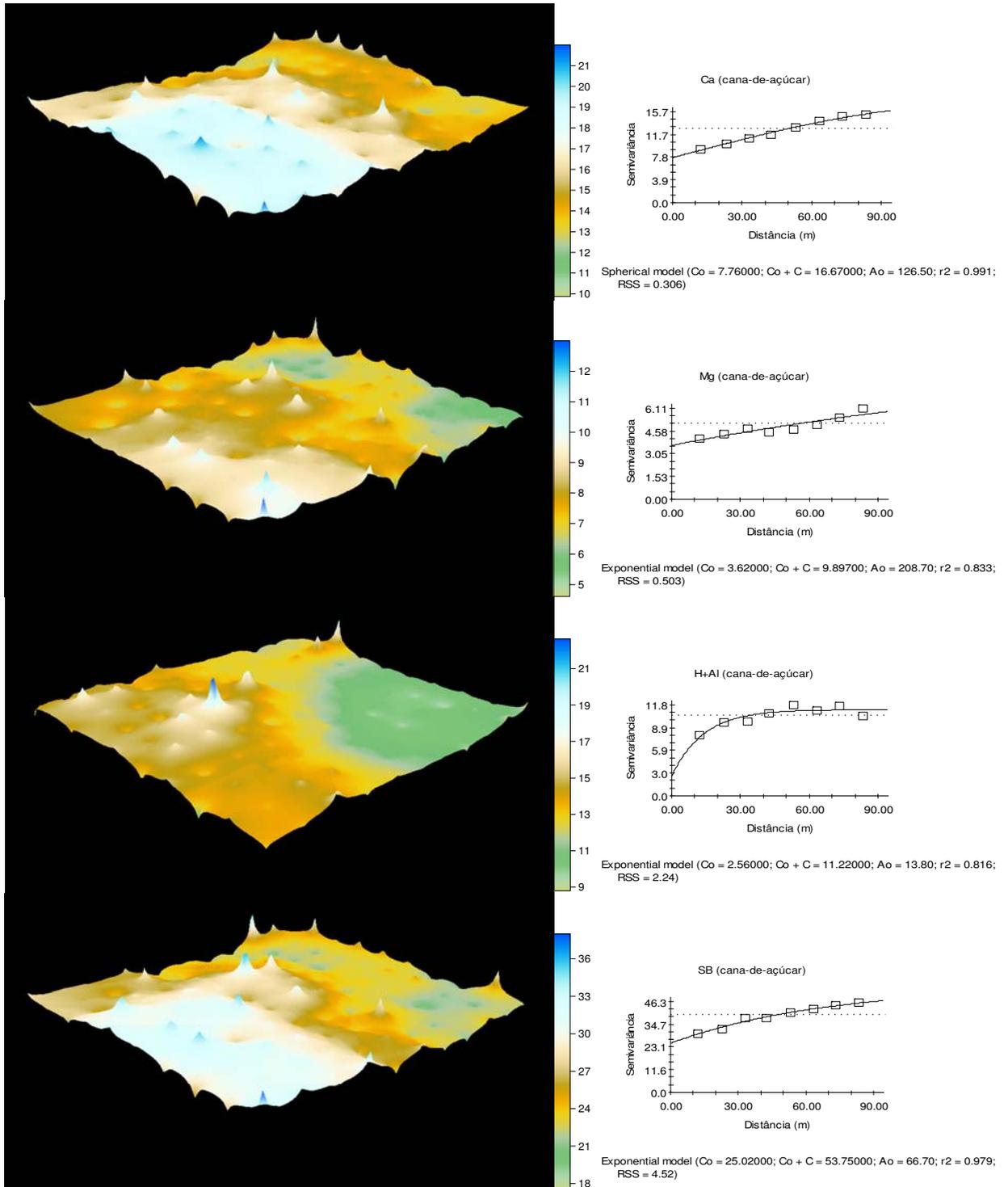


Figura 11. Mapas de interpolação de dados e semivariogramas dos atributos químicos do solo em área de cana-de-açúcar.

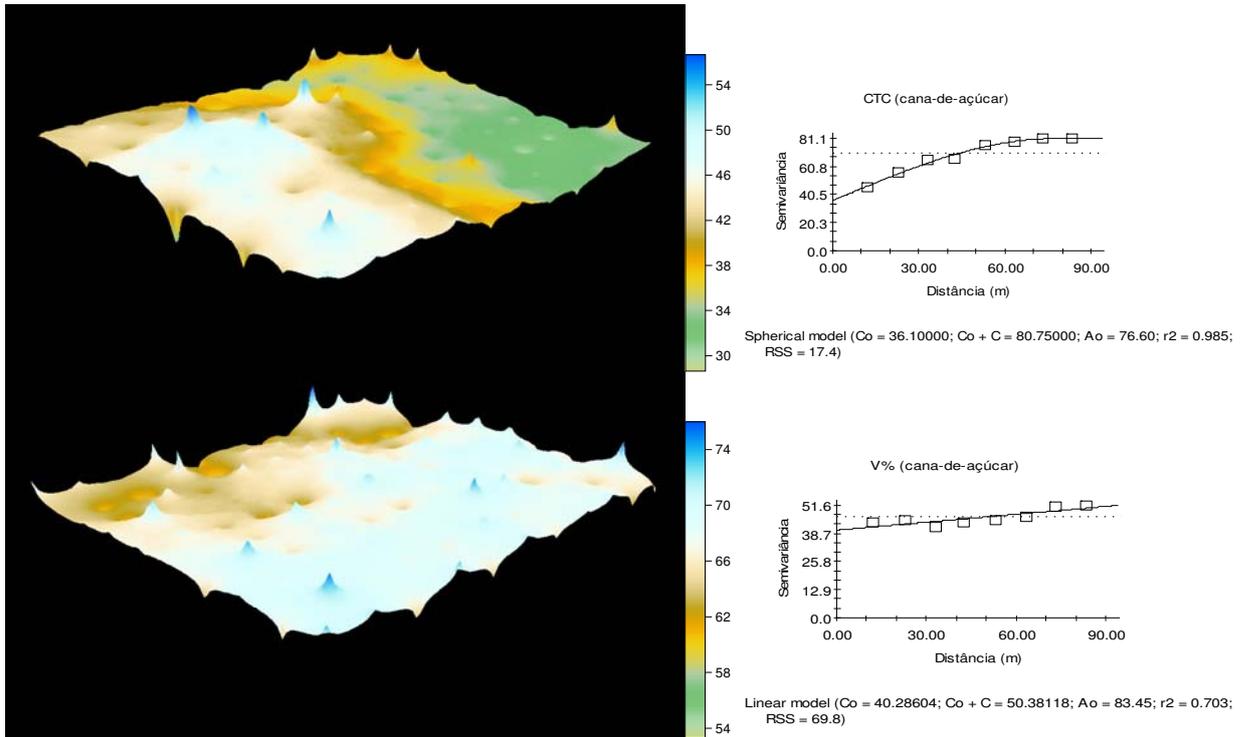


Figura 12. Mapas de interpolação de dados e semivariogramas dos atributos químicos do solo em área de cana-de-açúcar

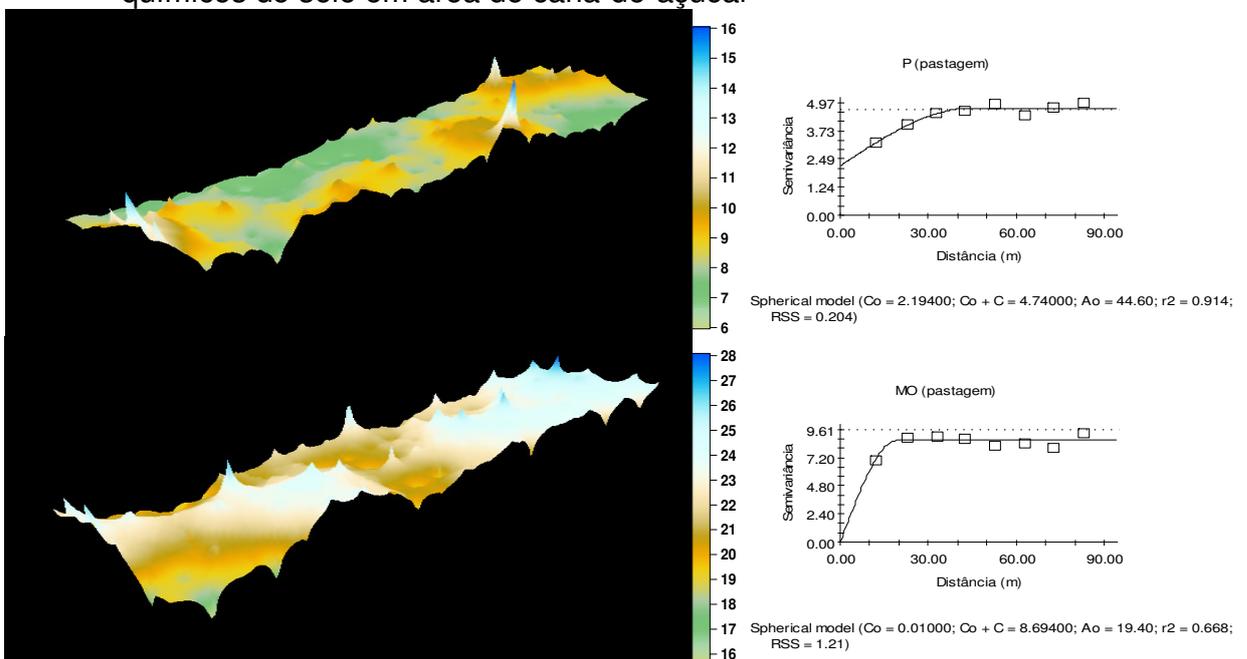


Figura 13. Mapas de interpolação de dados e semivariogramas dos atributos químicos do solo em área de pastagem

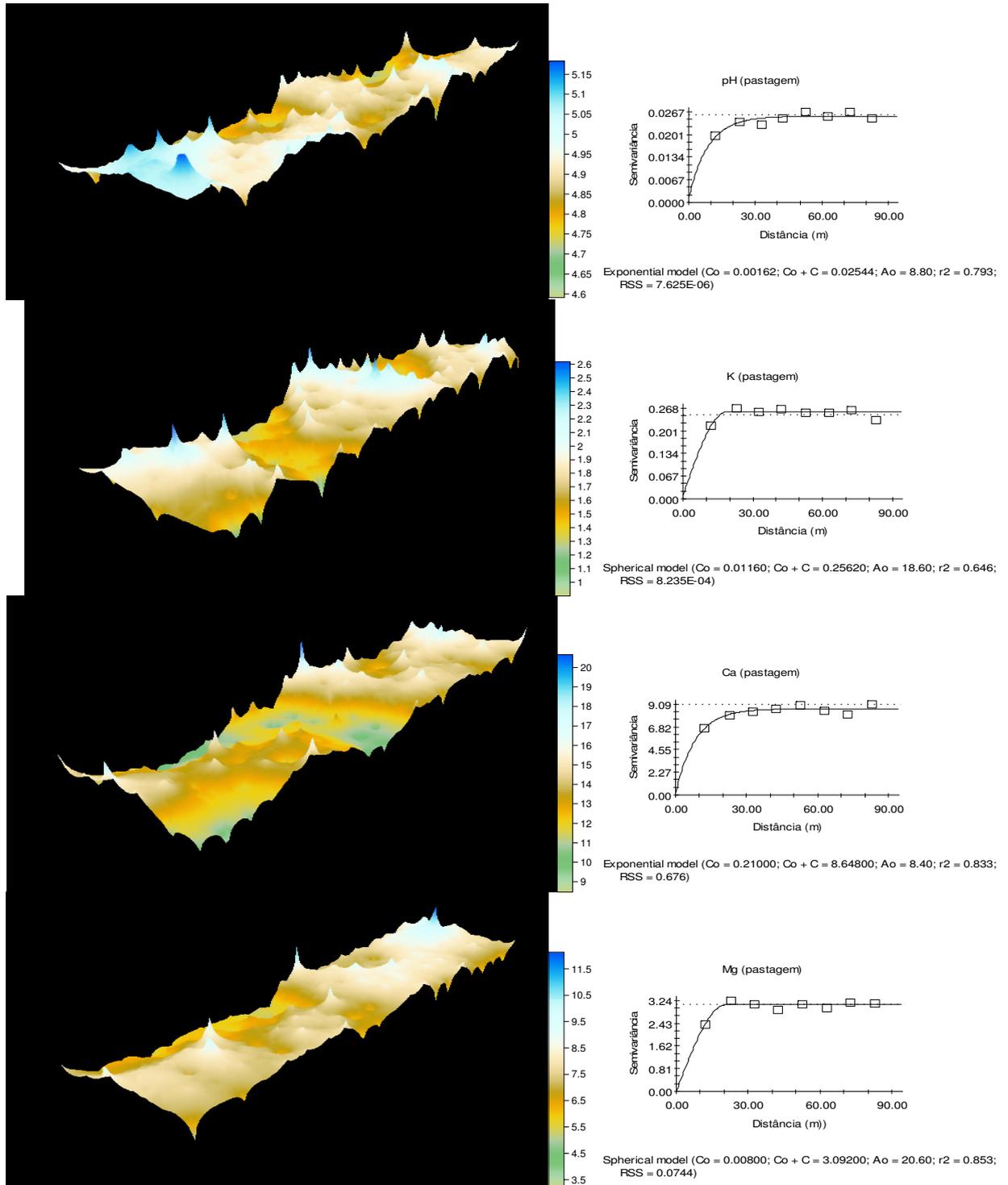


Figura 14. Mapas de interpolação de dados e semivariogramas dos atributos químicos do solo em área de pastagem.

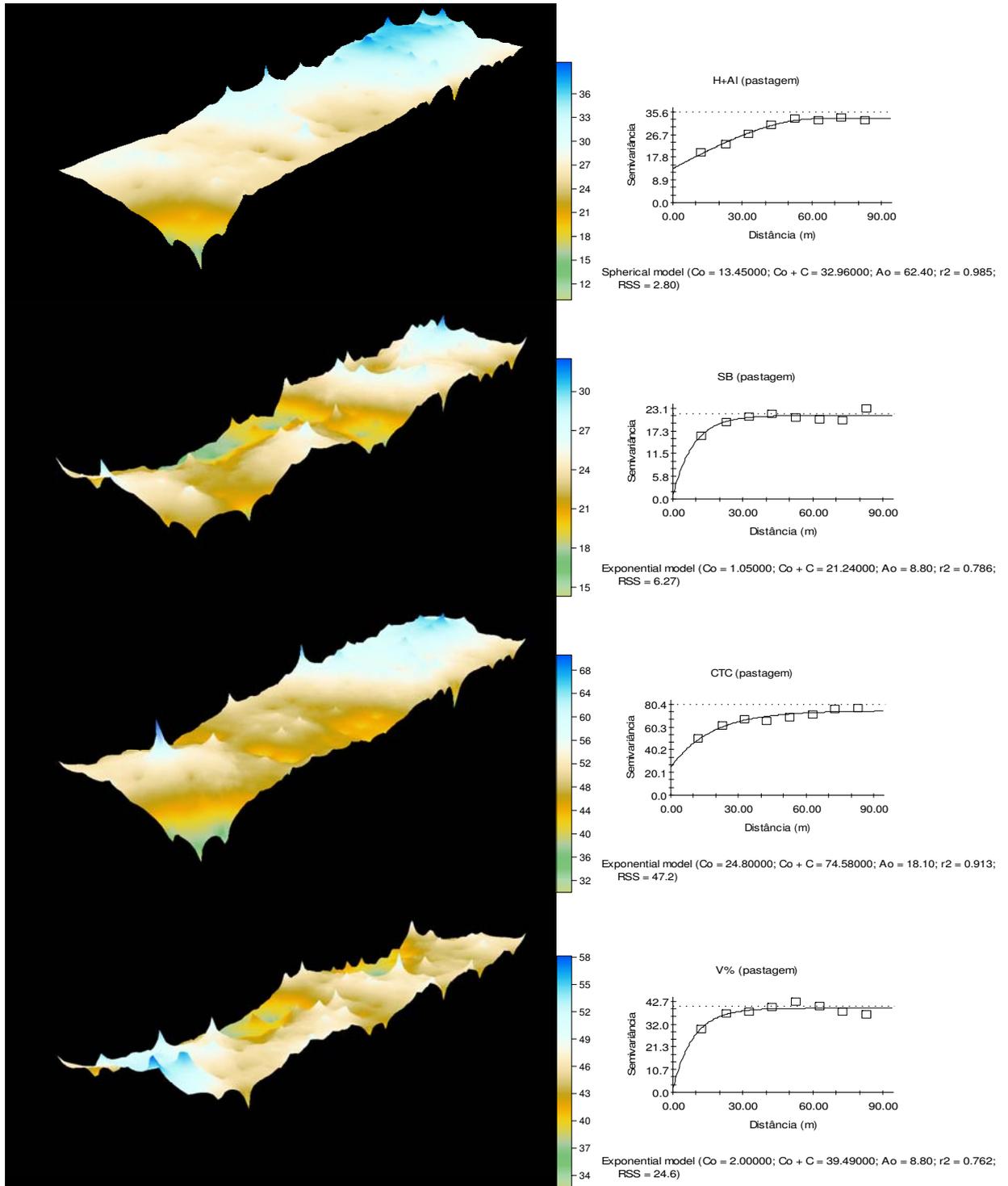


Figura 15. Mapas de interpolação de dados e semivariogramas dos atributos químicos do solo em área de pastagem.

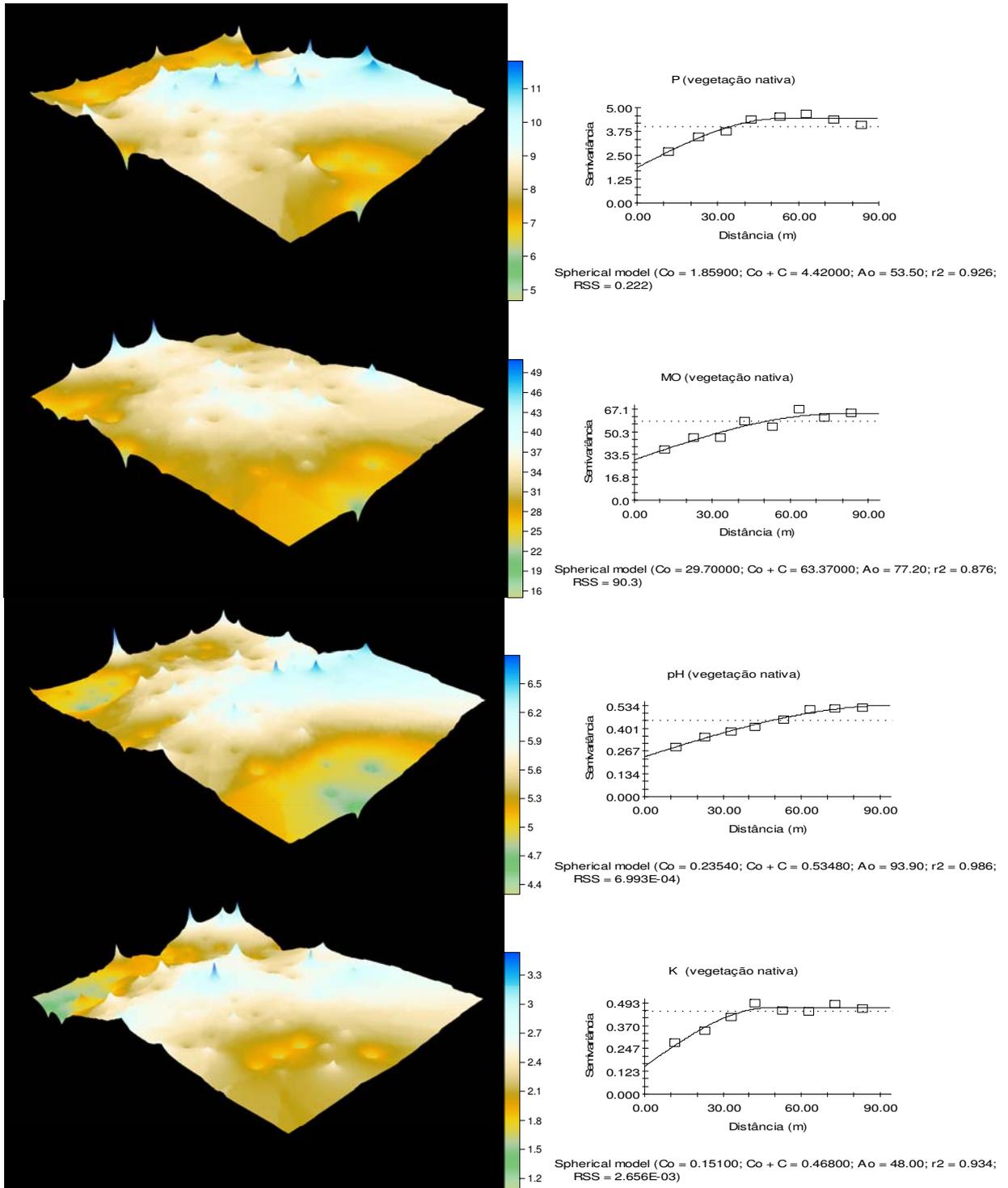


Figura 16. Mapas de interpolação de dados e semivariogramas dos atributos químicos do solo em área de vegetação nativa.

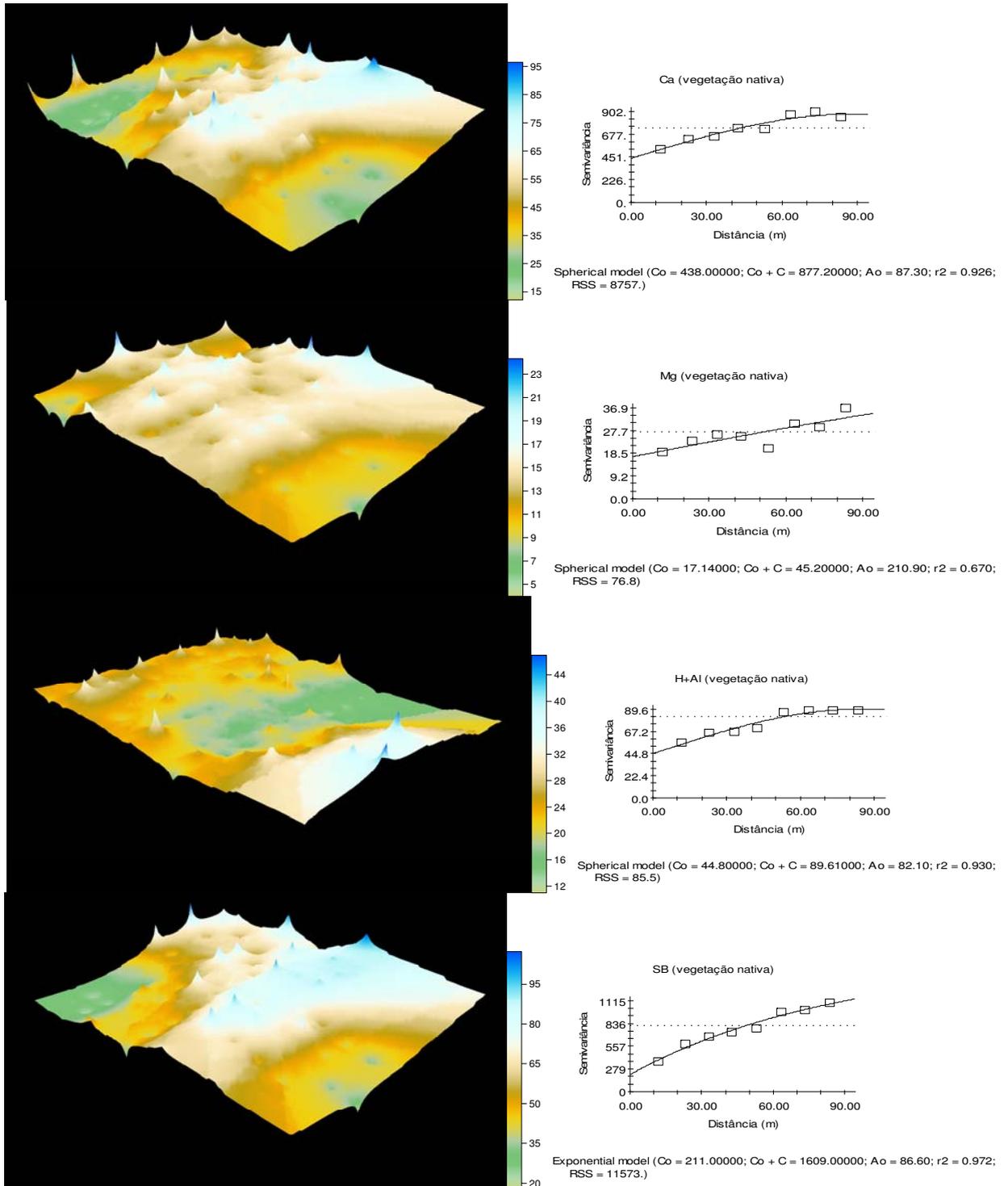


Figura 17. Mapas de interpolação de dados e semivariogramas dos atributos químicos do solo em área de vegetação nativa.

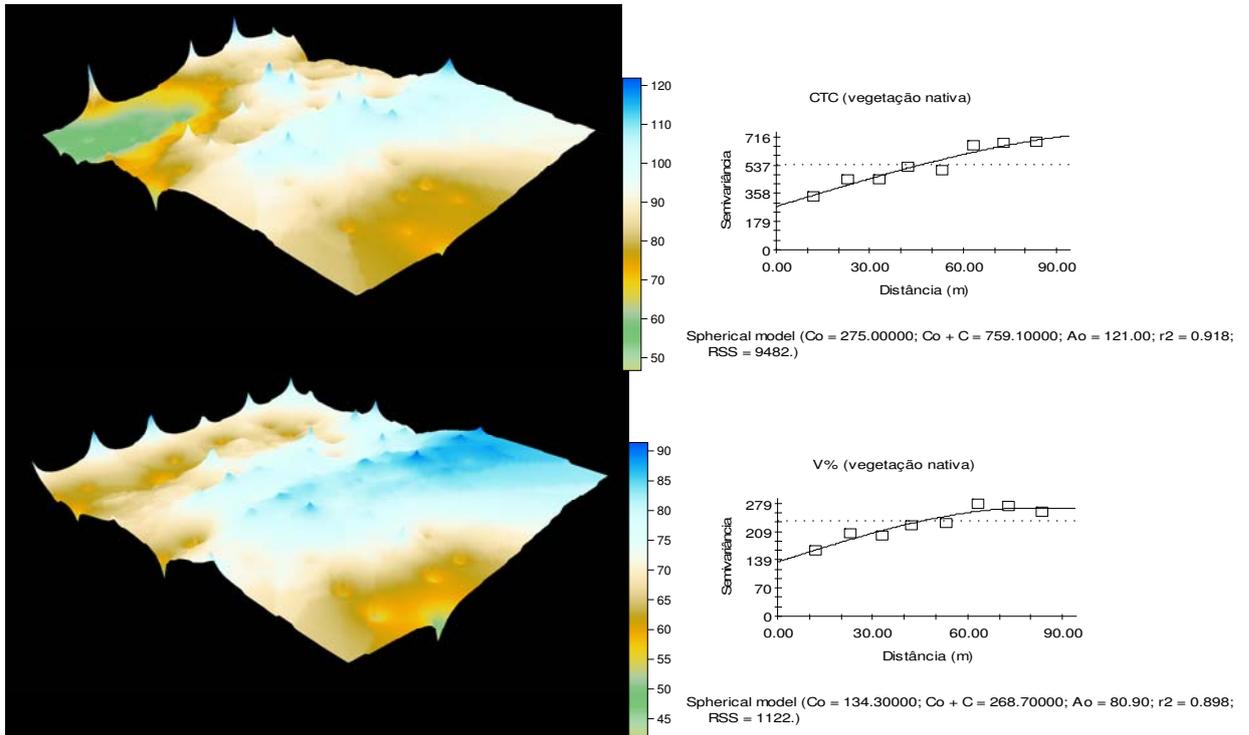


Figura 18. Mapas de interpolação de dados e semivariogramas dos atributos químicos do solo em área de vegetação nativa.

V. CONCLUSÕES

- Os atributos do solo estudados demonstraram uma estrutura de dependência espacial moderada e forte, com exceção do Ca, Mg, SB e V na área de cana-de-açúcar, da macroporosidade na área de pastagem e da microporosidade, porosidade total, Mg, SB e CTC na área de vegetação nativa.
- Os atributos físico-químicos ajustaram-se aos modelos esférico e exponencial, e alguns apresentaram semivariograma sem estrutura definida.
- A variabilidade espacial dos atributos físico-químicos forneceu a visualização de zonas homogêneas de manejo, permitindo a adoção de um sistema de agricultura de precisão.
- A vegetação nativa contribui para a melhoria dos atributos físicos e da matéria orgânica em relação às áreas de cana-de-açúcar e pastagem.
- As maiores variabilidades medidas por meio do coeficiente de variação foram observados na área da vegetação nativa.

REFERÊNCIAS

ALVES, M.C. *Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terrapleno e fundação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira - SP*. 2001. 83f. Tese (Livre Docência em Solos) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

ARAÚJO, A. V. *Variabilidade espacial de propriedades químicas e granulométricas do solo na definição de zonas homogêneas de manejo*. 2002. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

AZEVEDO, E. C. *Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso*. 2004. Tese. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.28, n.4, p. 645-653 2008.

BERNER, P. G. M.; VIEIRA, S. R.; LIMA, E; ANJOS, L. H. C. Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um Cambissolo sob dois sistemas de manejo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.31, n.5, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000500001. Acesso em 22 jan. 2010.

BORTOLUZZI, E. C.; SILVA, V. R., PETRY, C.; CECCHETTI, D. Porosidade e retenção de água em um Argissolo sob manejos convencional e direto submetido a compressões unidimensionais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, n.4, p. 1447-1557, 2008.

BRIASSOULIS, H. *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches*, Livro on-line (<http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>), Regional Research Institute, West Virginia University, 1999.

BRITO, L. F.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAZETTA, D. A.; CALZAVARA, S. A.; OLIVEIRA, L. Influência de formas do relevo em atributos físicos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n.6, p. 1749-1755, 2006.

CAJAZEIRA, J. P. *Caracterização e variabilidade espacial de atributos físicos em um Argissolo Amarelo no estado do Ceará*, 2007. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

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. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.58, n.5, p. 1501-1511, 1994.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M. O.; SILVA, A. R.; TASSO JÚNIOR, L. C.; NOBILE, F.O. Atributos físicos de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. *Engenharia agrícola*, Jaboticabal, v.26, n.3, p. 738-747, 2006.

CAMPOS, M. C. C.; FERRAZ, F. B.; FREITAS, E. V. S.; SOUZA, Z. M. Dependência espacial de atributos físicos e hídricos de um espodossolo da zona da mata de Pernambuco. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.7, n.1, 2007. Disponível em: http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:WAaOBCFQFdAJ:eduep.uepb.edu.br/rbct/sumarios/pdf/espodossolo.pdf+porosidade+com+modelo+esferico+em+cana&hl=ptBR&gl=br&sig=AHIEtbTc_4wmhXYqQy5iwiuJPB9wira6kA. Acesso em 18 jan. 2010.

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

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1329-1339, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n6/12.pdf>. Acesso em 21 jan. 2010.

COELHO FILHO, M A.; COELHO, R. D.; GONCALVES, A C A. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas do solo em um pomar de lima ácida Tahiti, irrigado por

- microaspersão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.5, n.2, p. 239-246, 2001.
- CORÁ, J. E.; 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.28, n.6, p.1013-1021, 2004.
- CORRÊA, A. N.; TAVARES, M. H. F.; URIBE-OPAZO, M. A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 30, p. 81-94, 2009.
- CRESSIE, N. *Statistics for spatial data*. New York: John Wiley, 1991. 900p.
- DAVIS, J. G.; HOSSNER, L.R.; WILDING, L.; MANU, A. Variability of soil chemical properties in two sandy, dunal soils of Niger. *Soil Science*, Baltimore, v.159, n.5, p. 321-330, 1995.
- DUFFERA, M.; WHITE, J. G.; WEISZ, R. Spatial variability of Southeastern U.S. Coastal Plain soil physical properties: Implications for site-specific management. *Geoderma*, Amsterdam, v.137, n.3-4, 2007. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science>. Acesso em: 21 set. 2009.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de métodos de análises de solo*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. *Revista Brasileira de Fruticultura*. , Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 235-241, 2003.
- FARIAS, P. R. S.; SÁNCHEZ VILA, X.; BARBOSA, J. C.; VIEIRA, S. R.; FERRAZ, L. C. C. B.; SOLIS-DELFIN, J. Using geostatistical analysis to evaluate the presence of *Rotylenchulus reniformis* in cotton crops in Brazil: economic implications. *Journal of Nematology*, Orlando. v.34, p.232-238, 2002.

FATHI, H.; YASREBI, J.; SAFFARI, M.; KARIMIAN, N.; EMADI, M.; BAGHERNEJAD, M. Spatial Variability of soil fertility properties for precision agriculture in Southern Iran. *Journal of Applied Sciences*, v.8, n.9, 2008. Disponível em: <<http://www.ansijournals.com/abstract.php?doi=jas.2008.1642.1650> >. Acesso em 15 set. 2009.

FREDDI, O. S. *Variabilidade espacial da produtividade do feijão (Phaseolus vulgaris L.) e de atributos químicos de um latossolo vermelho distroférico de Selviria (MS) sob preparo convencional e plantio direto*. 2003. 154f. Dissertação (Agronomia - Sistema de Produção). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2003.

GOMES, N. M.; FARIA, M. A. F.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.11, n.4, p. 427-435, 2007.

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

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Propriedades físicas de variabilidade espacial do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p. 169-177, 2005.

GUIMARÃES, E. C. *Geoestatística básica e aplicada*. Uberlândia, 2004. Disponível em: <http://www.famat.ufu.br/prof/ednaldo/geoest/apgeo1.pdf>. Acesso em: 04 set. 2007.

HAKANSSON, I. & VOORHEES, W.B. Soil compaction. In: Lal, R.; Blum, W.H.; Valentin, C. (ed.). *Methods for assessment of soil degradation*. Boca Raton: Lewis, 1997. p.167-179.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap4_modelos_lucc.pdf>. Acesso em 12 set. 2009.

- INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO. *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: Instituto Geográfico e Geológico - IGG, 1974.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989.
- JAKOB, A. A. E. *Estudo da correlação entre mapas de variabilidade de propriedades do solo e mapas de produtividade para fins de agricultura de precisão*. 1999. 145 f. Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999.
- KIEHL, E. L. *Manual de edafologia*. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.
- LAMBIN, E. F.; ROUNSEVELL, M. D. A; GEIST, H. J. Are current agriculture Are current agricultur el and use models able to predict changes in land-use intensity? *Agricultural Ecosystems and Environment*. v.82, p. 321–331, 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/>. Acesso em 15 set. 2009.
- LIMA, J. S. S.; SILVA, J. T. O.; OLIVEIRA, R. B.; ALMEIDA, V. S.; VANZO, F. L. . Estudo da viabilidade de métodos geoestatísticos na mensuração da variabilidade espacial da dureza da madeira de paraju (*Manilkara* sp). *Revista Árvore*, Viçosa, v.30, n.4, p.651-657, 2006a.
- LIMA, J. A. G.; MENDES, A. M. S.; DUDA, G. P.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do RN. *Revista Caatinga*, Mossoró, v.19, n.2, p. 192-199, 2006b.
- LIMA, J. S. S.; SATTLE, M. A.; PASSOS, R. R.; OLIVEIRA, P. C.; SOUZA, G. S. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem e vegetação secundária em regeneração natural. *Engenharia Agrícola*, v.29, n.2, p. 185-195, 2009.
- MARCHINI, D. C.; QUEIROZ, H. A.; ALVES, M. C.; SILVA, H. R.; ALTIMARE, A. L. Variabilidade da distribuição de tamanho de partículas e porosidade de dois solos da microbacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira – SP. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2007, Gramado. Porto Alegre – RS: Editora Universitária - UFRGS, 2007.

- MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial da matéria orgânica, P, K e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar por longo período. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, Campina Grande, v. 8, n.1, p. 143-152, 2008.
- MCBRATNEY, A.B. & WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *Journal of Soil Science*, v.37, p. 617-639, 1986.
- MELO FILHO, J. F., OLIVEIRA, A. S.; LOPES, L. C.; VELLAME, L. M. Análise estatística exploratória e variabilidade da densidade do solo em um perfil de Latossolo Amarelo coeso dos tabuleiros costeiros da Bahia. *Ciência Agrotécnica*, v. 30, p. 199-205, 2006.
- MONTANARI, R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JUNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PAZETO, R. J.; CAMARGO, L. A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos *Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.5, p.1266-1272, 2008.
- OLIVEIRA, J. B. de; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. *Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida*. Campinas: Instituto Agrônomo; Rio de Janeiro: Embrapa - Solos, 1999. 64 p. mapa.
- OVALLES, F. & REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del Lago de Valencia. *Agronomía Tropical*, Maracay, v. 44, n.1 p.41-65, 1994.
- PANOSSO, A. R. *Variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade em latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar em sistemas de colheita manual com queima e mecanizada*. 2006. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006).
- PENTEADO, M. M.; RANZANI, G. Aspectos geomorfológicos e os solos do município de Jaboticabal - SP. *Geographica*, Lisboa, n.25, p.41-61, 1971.
- PISSARRA, T. C. T; RODRIGUES, F. M.; GALBIATTI, J. A.; CAMPOS; S. Análise das condições hidrológicas em bacias hidrográficas com diferentes uso e ocupação do solo. *Irriga*, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 552-565, 2008.

- 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.
- ROBERTSON, G. P. *GS geostatistics for the environmental sciences: GS+ user' guide*. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152 p.
- ROQUE, C. G.; CENTURION, J. F.; PEREIRA, G. T.; BEUTLER, A. N.; FREDDI, O. S.; ANDRIOLI, I. Variabilidade espacial de atributos químicos em Argissolo VermelhoAmarelo cultivado com seringueira. *Revista de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta*, v.3, p.26-45, 2005.
- ROSA, R. A. Utilização de imagens TM/LANDSAT em levantamento de uso do solo. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., Manaus, 1990, *Anais...* São José dos Campos, INPE, v.2, p.419-425, 1990.
- SALIRE, E. V.; HAMENN, J. E.; HARDCASTLE, J. H. Compression of intact subsoils under short-duration loading. *Soil Tillage Research*, v. 31, p. 235-248, 1994.
- SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *crotalaria juncea* (L.) em área severamente erodida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n.1, p.115-122, 1998.
- SCHAFFRATH, V. R. *Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo e de variáveis de plantas daninhas em sistemas de manejo de solo*. 2006. 91 f.. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Paraná, Maringá, 2006.
- SCHLINDWEIN, J. A., ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, n.1, p.85-91, 2000.
- SCHNEIDER, L. C.; PONTIUS, R. G. Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agricultural Ecosystems and Environment*, v.85, p. 83-94, 2001.
- SCHOLTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. *SAS: system for elementary statistical analysis*. 2. ed. Cary: SAS, 1997. 905 p.
- SILVA, H. R. *Avaliação dos principais fatores do meio físico do município de Pereira Barreto - SP, relacionado com a produção agropecuária, mediante o emprego de*

imagens aéreas: projeto de pesquisa apresentado para a Comissão Permanente de Regime de Trabalho com o fim de ser desenvolvido durante o período de estágio probatório. Ilha Solteira: UNESP, 1991. 74 f.

SILVA, P.C.M.; CHAVES, L.H.G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em alissolos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, p. 1013-1020, 2003.

SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, S. C.; CUNHA, A. A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n.10, p. 2057-2064, 2000.

SOUSA, D. M. G. & LOBATO, E. *Cerrado: correção do solo e adubação*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 416 p.

SOUZA, G. S. S.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. B. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v.30, n.4, p. 589-596, 2008.

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

SOUZA, Z. M. & ALVES, M. C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. *Acta Scientiarum: Agronomy*. Maringá, v.25, n.1, p. 27-34, 2003.

SOUZA, Z. M.; BEUTLER, A. N.; PRADO, R. M.; BENTO J. C. Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho. *Científica*, Jaboticabal, v.34, n.1, p. 31-38, 2006.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.39, n.5, p. 491-499, 2004b.

- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana de açúcar. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.6, p. 1763-1771, 2004a.
- SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 40, n.3, p. 271-278, 2005.
- studies of soil proprieties. *Advances in Agronomy*, Kent, v.38. p.45-94. 1985.
- SURFER. *Contouring and 3D surfaces mapping for scientist's engineers*. version 7.0, user's guide. New York: Golden Software, 1999. 619 p.
- TILMAN, D.; Fargione, J.; Wolff, B., D'Antonio, C.; Dobson, A.; Howarth, R.; Schindler, D.; Schlesinger, W. H.; Simberloff, D.; Swackhamer, D. Forecasting agriculturally driven environmental change. *Science* v.292, p. 281–284, 2001.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Applications of geoestatics to spatial
- TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; WADE, M.K.; UEHARA, G.; SUDJADI, M. Spatial variation of soil properties and rice yield on recently cleared land. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v.51, n.3, p.668-74, 1987.
- VANNI, S. M. *Modelos de regressão: estatística aplicada*. São Paulo: Legmar Informática & Editora, 1998. 177p.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. (Ed.) *Tópicos em ciências do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-54.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Oakland, v.51, p.1-75, 1983.
- VZZOTTO, V. R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.30, n.6, p.965-969, 2000.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of some physical properties of the soil. In: Hillel, D. ed. *Applications of soil physics*, New York: Academic Press, cap. 13, p.319-344, 1980.

- WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advanced Soil Science*, v.3, p. 1-70, 1985.
- WILDING, L.P.; DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; HALL, G.F. (Ed.). *Pedogenesis and soil taxonomy: I. Concepts and interactions*. New York: Elsevier, p.83-116, 1983.
- WOLLENHAUPT, N. C.; MULLA, D. J.; CRAWFORD, C.A.G. *Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. the site-specific management for agricultural systems*. Madison: ASA-CSSA-SSSA, p.19-53, 1997.
- ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. *Ciência Rural*, v.37, n.4, p. 1000-1007, 2007.
- ZHAO, Y.; XU, X.; DARILECK, J. L.; HUANG, B.; SUN, W.; SHI, X. Spatial variability assessment of soil nutrients in an intense agricultural area, a case study of Rugao County in Yangtze River Delta Region, China. *Environmental Geology*, Heidelberg, v.57, n.5, 2008, Disponível em <<http://www.springerlink.com/content/r71w084047551k14/>>. Acesso em 16 set. 2009.
- ZHAO, Y; PETH, S.; Krummelbein, J.; Horn, R.; Wang, Z.; Steffens, M.; Hoffmann, C.; Peng, X. Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland. *Ecological Modelling*, v.205, n.1-2, 2007. Disponível em <http://www.elsevier.com/wps/find/homepage.cws_home>. Acesso em 16 set. 2009.
- ZIMBACK, C. R. L. *Geoestatística*. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas, 2003.