

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO E
PRODUTIVIDADE EM ÁREA CULTIVADA COM CAFÉ
ORGÂNICO E CONVENCIONAL**

Cleber Kouri de Souza
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
2006

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO E
PRODUTIVIDADE EM ÁREA CULTIVADA COM CAFÉ
ORGÂNICO E CONVENCIONAL**

Cleber Kouri de Souza

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Corá

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Junho – 2006

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

CLEBER KOURI DE SOUZA – nascido em 14 de agosto de 1972, em Rio Branco - AC, cursou o ensino médio profissionalizante de Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Machado (EAFM), Machado - MG. Em 1994 Ingressou no curso de Agronomia na Escola Superior de Agricultura e Ciências de Machado (ESACMA), Machado - MG, obtendo o título de Engenheiro Agrônomo em Julho de 1999. Em Agosto de 1999 ingressou no curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), Jaboticabal - SP, obtendo o título de Mestre em Agosto de 2001 e em Março de 2002 ingressou no magistério superior na Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações (UNINCOR), campus de São Gonçalo do Sapucaí – MG. Em Agosto de 2002, ingressou no curso de Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) na Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), Jaboticabal - SP, obtendo o título de Doutor em Junho de 2006.

Os poderosos perseguem-me sem motivo, mas é diante da tua palavra que o meu coração treme. Eu me regozijo na tua promessa como alguém que encontra grandes despojos. Odeio e detesto a falsidade, mas amo a tua lei. (Salmo 119:161-163)

Dedico esta obra a minha esposa, Lílian Karin Lucas Kouri, que mais uma vez não mediu esforços em me incentivar e à Rebeca Lucas Kouri, filha querida, herança que Deus nos deu.

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor da vida, em primeiro lugar.

A minha família, que com sabedoria e compreensão, deu-me força para continuar um sonho.

Ao amigo Gustavo Guerra pela concessão da área para realização deste estudo.

Ao amigo e orientador Prof. Dr. José Eduardo Corá.

Aos membros da banca examinadora, pela sinceridade com que avaliaram este trabalho.

Aos amigos do departamento de Solos e Adubos da FCAV-UNESP Jaboticabal, em especial a Dr. Amauri Nelson Beutler.

A todos os funcionários do departamento de Solos e Adubos.

Aos funcionários do laboratório.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Um muito obrigado...

SUMÁRIO

	Página
RESUMO –	vii
SUMMARY –	viii
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.1 Introdução	1
1.2 Objetivo	3
1.3 Revisão de literatura	4
1.3.1 Fatores que afetam a produtividade do cafeeiro.....	4
1.3.2 Agricultura de precisão: conceitos e definições	5
1.3.3 Mapeamento da produtividade das culturas	6
1.3.4 Variabilidade espacial de atributos de solo.....	7
1.4 Referências	10
CAPÍTULO 2 - VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO E PRODUTIVIDADE DE CAFÉ EM SISTEMA DE PRODUÇÃO CONVENCIONAL E ORGÂNICO	17
2.1 Introdução	18
2.2 Material e Métodos.....	19
2.3 Resultados e Discussão.....	22
2.4 Conclusões.....	36
2.5 Referências	37
CAPÍTULO 3 – VARIABILIDADE ESPACIAL DO BORO, COBRE, FERRO, MANGANÊS E ZINCO EM SOLO CULTIVADO COM CAFÉ ORGÂNICO E CONVENCIONAL	42
3.1 Introdução	43
3.2 Material e Métodos.....	44
3.3 Resultados e Discussão.....	46
3.4 Conclusões.....	58
3.5 Referências	59
CAPÍTULO 4 – IMPLICAÇÕES.....	63

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO E PRODUTIVIDADE EM ÁREA CULTIVADA COM CAFÉ ORGÂNICO E CONVENCIONAL

RESUMO – O objetivo deste trabalho é avaliar a distribuição espacial de atributos do solo e produtividade da cultura do café em áreas com diferentes sistemas de manejo: sistema convencional e sistema orgânico, visando à definição de zonas específicas de manejo. Foram feitas amostragens de solos em espaçamento regulares de 15m na transeção e 16m entre transeções em profundidade de 0-20cm. Determinaram-se matéria orgânica, fósforo, potássio, soma de base, capacidade de troca de cátions, saturação por bases, boro, cobre, ferro, manganês, zinco e produção da cultura nas safras 2003/2004 e 2004/2005. Para cada um dos atributos do solo estudados e produtividade da cultura, foi obtido os parâmetros da estatística descritiva, os semivariogramas e mapas de isovalores. Os valores médios, para a maioria dos atributos analisados, foram encontrados no sistema orgânico. O sistema convencional apresentou as maiores variabilidades dos dados expressas pelos maiores valores de coeficiente de variação. Os menores alcances, para a maioria dos atributos, foram observados no sistema convencional. A partir dos mapas de isovalores foi possível visualizar a distribuição espacial dos níveis de fertilidades do solo, sugerindo manejo diferenciado para cada área. Portanto, o estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo e produção da cultura associado aos mapas de isovalores, auxiliam na caracterização e diferenciação de zonas específicas de manejo.

Palavras-Chaves: geoestatística, dependência espacial, agricultura de precisão

SPACE VARIABILITY OF ATTRIBUTES OF THE SOIL AND PRODUCTIVITY IN AREA CULTIVATED WITH ORGANIC AND CONVENTIONAL COFFEE

SUMMARY – The objective of this work is to evaluate the space distribution of attributes of the soil and productivity of coffee in areas with different systems of handling: conventional system transistion and organic system. Ground samplings had been made in 25m in the transect and 16m between transect in the depth of 0-20cm. Determined organic substance, match, potassium, addition of base, capacity of exchange of cátions, saturation for bases, boron, has covered, iron, manganese, zinc and production in harvests 2003/2004 and 2004/2005. For each one of the attributes of the soil studied and productivity, had been gotten the descriptive statistics, and maps using the method of interpolation for krigagem. The average values, for the majority of the analyzed attributes, had been found in the organic system. The conventional system presented the biggest express variabilities for the biggest values of CV. The minors you reach had been observed in the conventional system indicating bigger space dependence, for all the attributes of the soil and productivity. From the maps was possible to visualize areas with differentiated behavior, suggesting handling located for each area. Therefore, the study of the space variability of the attributes of soil and production associated with the maps, they assist in the characterization of areas that need differentiated handling.

Keywords: geostatistics, spatial dependence, precision agriculture

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 Introdução

O interesse de produtores por técnicas de manejo localizado tem aumentado nos últimos anos. Um dos principais fatores para esse aumento é a possibilidade de redução e maior eficiência no uso e aplicação dos insumos agrícolas.

A agricultura de precisão tem agregado técnicas que permitem acessar e monitorar a atividade agrícola com o objetivo de aumentar sua eficiência com base no manejo diferenciado. Ela tem, ainda, como ponto de partida, a elaboração de mapas, principalmente os de produtividade das culturas, que possibilitam a identificação de locais que requerem manejos específicos.

No Brasil, a adoção da agricultura de precisão vem crescendo. Desta forma, é preciso buscar adaptações às condições brasileiras e maiores conhecimentos dos fatores envolvidos na produção agrícola.

Dentre os vários tipos de mapeamento, o da produtividade da cultura pode iniciar a identificação de variabilidade na lavoura (QUEIROZ et al., 2000). Alguns trabalhos relacionados ao mapeamento das lavouras foram realizados, entre eles, pode-se destacar BALASTREIRE et al. (1997), que relatou o desenvolvimento, construção e uso no campo, de um sistema de instrumentação e aquisição de dados para o mapeamento da produtividade de grãos.

Para algumas culturas como o milho e a soja, já existem sistemas que, acoplados a uma colhedora, geram mapas de produtividade, o que não acontece para as culturas perenes (EMMOTT et al. 1997). Portanto, os mapas de produtividade são importantes fontes de informações e diagnósticos das reais condições de produção encontradas no campo.

Para MIRANDA et al. (2005), a variabilidade de atributos de solo em uma área agrícola influencia diretamente na produtividade das culturas. Se for

constatada a variabilidade espacial destes atributos e da produtividade das culturas, a localização das regiões de alto e baixo potencial produtivo pode trazer benefício pela adoção de estratégia de manejo localizado.

Para que haja adequação aos conceitos de agricultura de precisão é necessário o conhecimento detalhado das causas e da variabilidade dos fatores que possam afetar a produtividade das culturas. Deste modo, a utilização da agricultura de precisão requer o entendimento da natureza e magnitude da variabilidade espacial dos atributos do solo (BHATTI et al. 1991).

O mapa de produtividade das culturas pode indicar a localização de áreas com baixo potencial produtivo, enquanto os mapas dos atributos do solo podem auxiliar na identificação dos fatores que limitam a produtividade, informações fundamentais para a tomada de decisões.

Para a cultura do café, alguns estudos vêm sendo realizados nesse sentido, dentre eles, destaca-se um sistema de mapeamento da produtividade na colheita mecanizada, desenvolvido por LEAL (2002). OLIVEIRA (2003) estudou, por meio de coleta manual, a variabilidade espacial da produção do café de montanha. Em ambos os trabalhos foi verificada a variabilidade espacial da produtividade desta cultura, fortalecendo o conceito de agricultura de precisão para o gerenciamento localizado da lavoura cafeeira.

Considerando a necessidade dos produtores situados em regiões onde o relevo não favorece a colheita mecanizada, acredita-se na possibilidade de se mapear característica das culturas como maturação de frutos, produtividade e qualidade de café, mapeamento esse baseado em metodologias adaptadas a essas regiões. Para isso, é necessário que a avaliação da variabilidade da produtividade do café deva estar associada à variabilidade do solo. MERCANTE et al. (2003), afirmam que o estudo da variabilidade dos atributos dos solos não tem sido levada em consideração nos processos produtivos.

Portanto, um maior conhecimento da variabilidade espacial da produtividade das culturas e dos atributos do solo vem somar-se ao conhecimento já existente sobre o assunto, o qual, ao ser devidamente disponibilizado aos

produtores que adotam a técnica de agricultura de precisão, pode viabilizar uma agricultura moderna e economicamente competitiva.

1.2 Objetivo

1. Avaliar a dependência espacial dos atributos de solos e produtividade do café em áreas com diferentes sistemas de produção: sistema convencional e sistema orgânico, visando a definição de zonas específicas de manejos.

1.3 Revisão de literatura

1.3.1 Fatores que afetam a produtividade do cafeeiro

A produção do cafeeiro é o resultado integrado dos diversos fatores envolvidos no manejo da cultura e do solo. Neste sentido, nota-se que pouco tem sido feito para avaliar a variabilidade da produção em áreas consideradas homogêneas (WEILL et al. 2000).

Dentre os fatores que interferem na produtividade da cultura do café, segundo MAGALHÃES (2002), a perda da área foliar merece maior atenção. Essa perda é ocasionada por diversos fatores bioecológicos (pragas, doenças e estresse hídrico) e, principalmente, por danos provocados por implementos utilizados na colheita mecanizada e pela colheita manual.

CAMARGO et al. (2003), afirmam que, além de fatores biológicos e antrópicos, o clima tem papel limitante na produção da cultura, pois atua diretamente no florescimento e na formação dos frutos. Segundo Alegre (1959) citado por DAMATTA & RENA (2002), as zonas climáticas mais adequadas para produção econômica de café devem estar em torno de 18° a 21°C sem grandes variações. Para esses mesmos autores, em temperaturas elevadas, principalmente no período de floração, há redução da florada.

RENA et al. (2003), afirmam que os espaçamentos utilizados atualmente nas lavouras cafeeiras têm proporcionado um aumento na produtividade, principalmente o adensado, quando comparado com os espaçamentos convencionais, e afirmam ainda que existem evidências de que uma população ideal de plantas é de aproximadamente 6000 pés por hectare.

Outro aspecto relacionado à produtividade das lavouras está associado às características do solo. WEILL et al. (2000), encontraram relação entre os componentes de fertilidade do solo e produtividade de café em duas áreas no interior paulista. Grandes partes das lavouras cafeeiras do Estado de Minas

Gerais possuem baixas produtividades, principalmente pela falta de informações sobre manejo nutricional da cultura.

Lavouras que apresentam baixa produtividade estão relacionadas a áreas com problemas nutricionais. Portanto, o estabelecimento de um programa apropriado de adubação é necessário para identificar os principais problemas inerentes à nutrição de planta e, posteriormente, determinar quais nutrientes limitam a produção.

1.3.2 Agricultura de precisão: conceitos e definições

Segundo OLIVEIRA (2003), trabalha-se com agricultura de precisão desde o início do século XX. Porém, a prática remonta aos anos 80, quando em 1988, nos EUA, fez-se a primeira adubação em tempo real (STAFFORD, 2000).

Recentemente, avanços tecnológicos mostram que é possível alocar os insumos, com base nas necessidades de cada área no campo, sendo essa técnica denominada de agricultura de precisão: aplicação localizada de insumo e manejo da cultura ponto a ponto (BALASTREIRE et al. 2001).

Pode-se conceituar agricultura de precisão como "revolução agrícola que permite otimizar uso de insumos e reduzir custos em benefício do meio ambiente e da produção agrícola (STAFFORD et al., 1997)", ou "sistema de gerenciamento agrícola emergente de alta tecnologia" (COWAN, 2000).

Segundo DAMPNEY & MOORE (1999), o termo agricultura de precisão refere-se às medições e manejo da variabilidade espacial. Para esses autores, muitos fatores podem exibir variabilidade espacial, incluindo produtividade e qualidade da cultura, classe de solo, fertilidade do solo, incidência de plantas daninhas, pragas e doenças.

Tradicionalmente, os agricultores têm amostrado o solo de uma dada área, uniformizando sub-amostras em uma única, para representar as características de fertilidade daquela área. Com base nessa interpretação, fazem aplicações de quantidades uniformes de insumos. No entanto, as propriedades do solo podem

variar de local para local dentro da mesma área (SCHUELLER, 1992; WIEDA & BORGELT, 1993).

Portanto, a agricultura de precisão requer princípios de manejo de acordo com a variabilidade no campo, além da necessidade do uso de novas técnicas para estimar e mapear a variabilidade espacial dos atributos de solos.

1.3.3 Mapeamento da produtividade das culturas

O mapeamento da produtividade é uma das fases da agricultura de precisão. Para a cultura de cereais, os métodos e equipamentos necessários já são relativamente bem conhecidos. Este não é o caso de culturas como laranja, cana-de-açúcar e café, para as quais ainda são poucos os trabalhos encontrados na literatura.

Segundo SALVIANO (1996), poucos trabalhos têm sido conduzidos sobre as relações entre a variabilidade dos atributos do solo e a variabilidade da produtividade das culturas. De acordo com MULLA et al. (1990), a variabilidade dos atributos do solo influencia a eficiência do manejo e o desenvolvimento de uma cultura e causa rendimento desuniforme, mesmo em pequenas áreas.

Um importante componente da agricultura de precisão, segundo HAN et al. (1994), são os mapas, pois, a partir destes, é possível identificar a variabilidade espacial de atributos do solo e da produtividade das culturas, além de auxiliar o gerenciamento localizado da lavoura. Portanto, para a implementação do sistema de agricultura de precisão, que permite o gerenciamento localizado, um dos requisitos básicos é a elaboração de mapas de produtividade das culturas.

QUEIROZ et al. (2000) e MOLIN (2001), afirmam que os mapas de produtividade podem ser utilizados como ponto de partida, a fim de avaliar as causas de variabilidade da produtividade das culturas, bem como verificar as possíveis causas de modificações que o sistema de manejo, em locais específicos, podem trazer. Para MOLIN (2001), o mapa de produtividade é a informação mais completa para se visualizar a variabilidade espacial das lavouras.

Segundo CREMONINI & MOLIN (2002), a partir da geração de mapas de produtividades das culturas é possível constatar a variabilidade espacial da produção em que se evidenciam locais de alta e baixa produtividade. Deste modo, o mapeamento da produtividade das culturas é útil para a racionalização da agricultura, investigação mais precisa da variação espaço-temporal e definição de estratégias de manejo localizado (AVELLAR et al., 2002; MANZIONE et al., 2002; RODRIGUES et al., 2002).

A partir de observações em mapas de produtividade, para uma lavoura de café com 4 ha, LEAL (2002) verificou variações de produtividade entre 1.284 e 6.326 kg ha⁻¹ de café fresco. Da mesma forma, BALASTREIRE et al. (2001) mapearam a produtividade de uma lavoura de café e verificaram variabilidade espacial da produtividade nesta cultura. Esses autores concluíram que o conhecimento da variabilidade da produtividade da cultura do café pode permitir o aumento da produtividade em locais pouco produtivos.

SEELAN et al. (2003), relataram que a identificação das variações da produtividade das culturas, a partir do mapeamento, juntamente com os avanços e desenvolvimento da agricultura de precisão tem proporcionado melhor aproveitamento do potencial produtivo das lavouras.

1.3.4 Variabilidade espacial de atributos de solo

Os solos variam ao longo da paisagem em virtude da intensidade de manifestação de seus fatores e processos de formação. Quanto maior a variação desses fatores, principalmente a do material de origem e relevo, maior será a heterogeneidade dos solos em uma determinada área.

Os atributos do solo, além de variarem no espaço, podem variar no tempo para cada posição no espaço. Esta variação, decorrente da ação de agentes naturais, assim como da ação do homem, deve se manifestar com maior intensidade em alguns atributos do que em outros (SLOT et al. 2001).

Na agricultura tradicional, essa variação não é levada em consideração, uma vez que a homogeneidade dos solos, geralmente, é determinada apenas visualmente, considerando apenas a unidade do solo, manejo, topografia, enfim, características visuais (GUIMARÃES et al., 1996).

Segundo CORÁ & MARQUES JÚNIOR (1998), as áreas de produção agrícolas contêm um complexo arranjo de solo e paisagem, no qual a variabilidade espacial nos atributos do solo e produtividade das culturas é regra, e não exceção.

CORÁ (1997) afirmou que o manejo do solo pode afetar propriedades químicas, físicas e biológicas. Portanto, práticas como aração e gradagem são responsáveis pelas alterações da dependência espacial de certos atributos do solo.

A variabilidade dos atributos dos solos tem sido dividida em aleatória e sistemática. Variabilidade sistemática é aquela que pode ser atribuída a uma causa conhecida e prevista. Por outro lado, quando a variabilidade não pode ser atribuída a uma dada causa, ela é tida como sendo aleatória.

Para o manejo localizado da produtividade agrícola, o conhecimento da variabilidade dos atributos de solo e planta é necessário. Hoje já estão disponíveis ferramentas que possibilitam a coleta, armazenamento e análise de dados, viabilizando estudos desta natureza. Porém, uma das maiores limitações, segundo (SÁ, 2001), é o alto custo da obtenção de informação sobre os atributos do solo em escala adequada. Essa limitação tem reduzido o interesse de produtores na utilização de técnica de agricultura de precisão.

O estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo é particularmente importante em áreas onde o solo está submetido a diferentes manejos, pois a análise geoestatística pode indicar alternativas de manejo não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo na produção das culturas (TRANGMAR et al. 1985), mas também para aumentar a possibilidade de se estimarem respostas dos atributos do solo em função de determinadas práticas de manejo.

Segundo SALVIANO (1996), o conhecimento da variabilidade dos atributos dos solos constitui importante passo, para que se possa empregar um manejo mais adequado.

A variabilidade dos atributos do solo tem sido abordada por vários autores, sendo essa variabilidade atribuída a diversos fatores, os quais não atuam pontualmente, mas sim, segundo um determinado padrão.

GONÇALVES (1997) avaliou a variabilidade espacial do pH, matéria orgânica, acidez trocável, P disponível e bases trocáveis do solo amostrado em diferentes intensidades amostrais, enfatizando que o conhecimento do padrão de variabilidade permite a identificação de padrões de amostragem adequados.

YANAI et al. (2001) determinaram pH, CTC, carbono total, N total, relação C/N, P disponível, N inorgânico, N mineralizável, Ca, Mg, K e Na em 100 amostras de solo coletadas em área de 50 x 100 m, cultivada com arroz. Neste estudo, foi verificado dependência espacial dos atributos variando entre 20-60 m.

BARBIERI et al. (2002) estudaram a variabilidade espacial de P, K e soma de bases em área sob cultivo de cana-de-açúcar. Esses autores verificaram que os alcances para os atributos de solo variaram entre 587 m e 743 m. A partir dessas informações, os autores sugeriram que, em futuras amostragens para avaliação daqueles atributos do solo, em condições semelhantes, seja utilizada malha suficiente para cobrir toda a área de interesse. Essas informações confirmam as de CORÁ et al. (2004).

1.4 Referências

AVELLAR, G., FRANÇA, G. E., OLIVEIRA, A. C., MANTOVANI, E. C. Uso de SIG's no Delineamento de Zonas de Manejo para Uso Agrícola. In: 2o SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, Viçosa, MG, Brasil, **Anais...**, 2002. 1 CD.

BALASTREIRE, L. A.; AMARAL, J. R.; LEAL, J. C. G. Agricultura de precisão: Mapeamento da produtividade de uma cultura de café. <http://www.ciagri.usp.br/~leia/resucafe.htm>. 2001.

BALASTREIRE, L. A.; ELIAS, I. A.; AMARAL, J. R. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade da cultura de milho. **Engenharia Rural**. v.8, p.97-111, 1997.

BARBIERI, D. M. ; SOUZA, Z. M. ; MARQUES JÚNIOR, J.; CORÁ, J. E. ; PEREIRA, G. T. ; BENTO, M. J. C. Variabilidade espacial de fósforo, potássio e soma de bases em um latossolo vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar na região de Jaboticabal, SP. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25.; IX REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 9.; VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 2002. p. 28.

BHATTI, A. U.; MULLA, D. J.; KOEHLER, F. E.; GURMUNI, A. H. Identifying and removing spatial correlation from yield experiments. **Soil Science Society of America Journal**. v.55, n. 6, p.1523-1528, 1991.

CAMARGO, M. B. P.; SANTOS, M. A.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; FAHL, J. I.; BRUNINI, O.; MEIRELES, E. J. L.; BARDINI, L. Modelo agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de quebra de produtividade como subsídio à previsão de safra de café (*Coffea arabica L.*): Resultados preliminares. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉ DO BRASIL E WORK SHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2003. p. 75-76.

CORÁ, J. E. **The pontential for site-specific management of soil corn yield variability induced by tillage.** East Lansing, MI. Tese de Doutorado apresentada à Michigan State University, USA. 104p. 1997.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; & BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:1013-1021, 2004.

CORÁ, J. E.; MARQUES JÚNIOR, J. Atributos do solo para agricultura de precisão. In: SILVA, F. M. (coord). **Simpósio de mecanização e agricultura de precisão.** XXVII CONBEA. Poços de Caldas. p.31-70. 1998.

COWAN, T. **Precision Agriculture and Site-Specific Management: Current Status and Emerging Policy Issues.** National Council for Science and the Environment, 2000. Disponível em:
<<http://www.ncseonline.org/NLE/CRSreports/Agriculture/ag-99.cfm>>. Acesso em: 20/3/2003,

CREMONINI, L. C. M.; MOLIN, J. P. Acurácia de mapas altimétricos obtidos por monitores de produtividade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2. 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIAP, 2002. 1CD.

DAMATA, F. M.; RENA, A. B. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. In: ZOMBOLIM, L. (ed.). **O estudo da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: UFV, Departamento de fitopatologia, 2002. c.3. p. 93-136: il.

DAMPNEY, P. M. R., MOORE, M. Precision agriculture in England: Current practice and research-based advice to farmers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1999. Part A, p.661-73.

EMMOTT, A.; HALL, J.; MATTHEWS, R. **Precision farming applied to plantation agriculture**, 1st European conference on precision agriculture. 1997.

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

GUIMARÃES, E.; MAIA, J. C. de S.; DANIEL, L. A.; SERPA, F.; e CAVALIERI, A. Determinação do número de amostras necessárias para avaliar parâmetros físicos do solo em diferentes sistemas de preparo através de métodos geoestatísticos. Campinas, SP, 1996.

HAN, S.; HUMMEL, J. W.; GEORING, C. E.; CAHN, M. D. Cell size for site-specific crop management. **Transaction of the ASAE**, v.37, n.1, p.19-26. 1994.

LEAL, J. C. G. **Mapeamento da produtividade da colheita mecanizada do café**. 2002. 74p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MAGALHÃES, A. C. Efeito da redução da superfície foliar sobre o desenvolvimento de cafeeiros. In: ROMERO, J. C. P. (ed.) **O café no IAC**: Instituto Agrônomo 60 anos de artigos científicos publicados a revista Bragantina (1941-2001). Piracicaba. Editora Agronômica Ceres, 2002. p. 387-388.

MANZIONE, R. L., RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L. Análise Espacial Multivariada Aplicada na Definição de Zonas de Manejo da Acidez do Solo. In: 20 SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, Viçosa, MG, Brasil, **Anais...**, 2002. 1 CD.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade especial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1149-1159, 2003.

MIRANDA, N. O.; OLIVEIRA, T. S.; LEVIEN, S. L. A.; SOUZA, E. R. Variabilidade espacial da qualidade de frutos de melão em áreas fertirrigadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.2, p.242-249, 2005.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: O Autor, 2001. 83p

MULLA, D. J.; BHATTI, A. V.; KUNKEL, R. Methods for removing spatial variability from field research trials. **Advances in Soil Science**, v.13, p.201-2013. 1990.

OLIVEIRA, A. S. C. **Mapeamento da variabilidade espacial da produção da cafeicultura de montanha**. 2003. 82p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P.; MANTOVANI, E. C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, L. R. (Eds). **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV. 2000. p.1-41.

RENA, A. B.; NACIF, A. P.; GUIMARÃES, P. T. G. Fenologia, produtividade e análise econômica do cafeeiro em cultivos com diferentes densidade de plantio e doses de fertilizantes. In: ZOMBOLIM, L. (ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa: UFV, Departamento de fitopatologia, 2003. 709p.

RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L.; MANZIONE, R. L. Análise e Classificação de Mapas de Produtividade e de Atributos de Solo na Delimitação de Zonas de Manejo. In: 2o SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, Viçosa, MG, Brasil, **Anais...**, 2002. 1 CD.

SÁ, M. F. M. **Abordagem quantitativa na predição espacial de atributos do solo e geração de zonas de manejo agrícola**. 117 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2001.

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos de solo e de *crotalaria juncea* L. em solos degradado do município de Piracicaba-SP**. Tese de Doutorado apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. 83p. 1996.

SCHUELLER, J. K.; review and integrating analysis of spatially variabli crop control of crop production. **Fertilizer Research**, the Hague, v.33, p.1-34, 1992.

SEELAN, S. K.; LAGUETE, S.; CASADY, G. M.; SEIELSTAD, G. A. **Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach.** Remote sensing of Environment, n.88, p157-169, 2003.

SLOT, M. H.; GENTHNER, M. H.; DANIELS, W. L.; GROOVER, V. A. Spatial variability in Palustrine wetlands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.527-535, 2001.

STAFFORD, J. V. **Implementing Precision Agriculture in the 21st Century.** Keynote Paper. Journal of Agricultural Engineering Research, Silsoe Research Institute, AgEng 2000, UK, 76: 267-275, 2000.

STAFFORD, J. V., AMBLER, B., BOLAM, H. C. Cut width sensors to improve the accuracy of yield mapping systems. In EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997. Warwick. *Proceedings...* Oxford: BIOS Scientific Publishers, 1997. p.519-28.

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

WEILL, M. A. M; IAFFE, A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; GRANJA, N. Variabilidade da produção de café em um ensaio em Pindorama, SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Embrapa Café e Minasplan, 2000. p. 779-781.

WIEDA, R.; BORGELT, S. T. **Geoestatitital analysis of plant nutrients from sample nested grids.** St Joseph, ASAE. Paper MCR93-131, 14p. 1993.

YANAI, J.; LEE, C. K.; KAHO, T.; IIDA, M.; MATSUI, T.; UMEDA, M.; KOSAKI, T.
Geostatistical analysis of soil chemical properties and rice yield in a paddy field
and application to the analysis of yield-determining factors. **Soil Science and
Plant Nutrition**, The Hague, v.47, n.2, p.291-301, 2001.

CAPÍTULO 2 - VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO E PRODUTIVIDADE DE CAFÉ EM SISTEMA DE PRODUÇÃO CONVENCIONAL E ORGÂNICO

RESUMO - O objetivo deste trabalho é avaliar, para fim de manejo localizado, a distribuição espacial de atributos de solos e produtividade de café em áreas com diferentes sistemas de produção: sistema convencional e sistema orgânico. Foram feitas amostragens de solos em espaçamentos regulares de 15m na transeção e 16m entre transeção na profundidade de 0,00-0,20m, totalizando 98 amostras no sistema convencional e 103 no sistema orgânico. Determinaram-se pH, Matéria Orgânica, Fósforo, Potássio, Saturação por Bases e produtividade nas safras 2003/2004 e 2004/2005. Para cada um dos atributos do solo e produtividade da cultura, foram estimados parâmetros da estatística descritiva (média, mínimo, máximo, desvio padrão, coeficientes de variação, assimetria e curtose), os semivariogramas e mapas de isovalores, utilizando o método de interpolação por krigagem. O sistema convencional de produção apresentou as maiores variabilidades dos dados expressas pelos maiores níveis de coeficiente de variação. Todos os atributos apresentaram graus de dependência espacial forte, com ocorrência das maiores semivariâncias no sistema orgânico para os atributos pH, Matéria Orgânica e Potássio. A variabilidade espacial dos atributos de solo e produtividade da cultura possibilitou definir diferentes zonas de manejo. Portanto, o estudo da variabilidade espacial dos atributos de solos e produtividade, associado aos mapas de isovalores, auxilia na caracterização de áreas que necessitam de manejo diferenciado.

Palavras-Chave: krigagem, geoestatística, café, agricultura de precisão

2.1 Introdução

O manejo localizado requer o conhecimento da variabilidade dos atributos do solo e da planta. No presente já estão disponíveis ferramentas que possibilitam a coleta e análise de dados, viabilizando o estudo da variabilidade espacial (SÁ, 2001).

Segundo CAMBARDELLA et al. (1994), o conhecimento da variabilidade espacial do atributo do solo em um campo produtivo é importante para o refinamento das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura.

A Geoestatística tem demonstrado ser de grande utilidade na estimativa da variabilidade espacial de atributos do solo e produtividade das culturas. Deste modo, o estudo da variabilidade espacial de atributos físicos e químicos do solo é importante em áreas com diferentes manejos, pois poderá indicar alternativas para reduzir os efeitos dessa variabilidade (TRANGMAR et al., 1985).

A variabilidade dos atributos do solo e das plantas pode ser adicionada de diversas formas. CORÁ (1997) afirmou que áreas pedologicamente idênticas possuem variabilidade diferenciada quando submetidas a diferentes práticas de manejo.

CORÁ & MARQUES JUNIOR (1998) afirmaram que conhecer e modelar a variabilidade espacial da produtividade das culturas, atributos de solo e qualquer outro parâmetro que possa estar correlacionado com a produtividade é uma das etapas para se estabelecer um processo de gerenciamento localizado.

Segundo JAKOB (1999), as alterações nos atributos do solo podem causar diferenciações na produtividade das culturas. Assim, correlacionando-se estes atributos com a produtividade, é possível identificar quais atributos de solo mais contribuem para explicar a produtividade das lavouras.

CORÁ et al. (2004) afirmaram que conhecer a variabilidade dos atributos do solo, principalmente aquelas que controlam a produtividade das culturas, é fator importante em um sistema de produção que visa à sustentabilidade por meio do manejo localizado.

Assim, entender como a distribuição espacial dos atributos do solo varia é importante para o estabelecimento das práticas de manejo adequadas, não somente à otimização da produtividade agrícola, mas também para a minimização de possíveis danos ambientais (McBRATNEY & PRINGLE, 1999).

Em culturas tradicionais, como cereais, o monitoramento localizado da variabilidade dos atributos do solo e da planta tem sido realizado, mas para o gerenciamento de culturas como cana-de-açúcar, citros e café pouco tem sido utilizado.

Visando melhorar esta situação, alguns estudos já foram desenvolvidos. Dentre eles destacam-se: a) o sistema de pesagem de carga para a cultura do café (BALASTREIRE et al., 2001); b) o monitoramento da colheita mecanizada na cultura do café (SARTORI et al., 2002); e c) o mapeamento da produtividade da cultura do citros (FARIAS et al., 2003). Esses autores relatam a necessidade de avaliar a produtividade conjuntamente com os atributos do solo.

Portanto, a ênfase em se considerar a variabilidade do solo torna-se mais evidente quando se supõem os efeitos causados pelo manejo, permitindo admitir que, se mesmo num solo ao natural a variabilidade não pode ser desconsiderada, muito mais importância ela adquire num solo cultivado.

O objetivo deste trabalho é avaliar a distribuição espacial de atributos do solo e produtividade de café em áreas com diferentes sistemas de produção: sistema convencional e sistema orgânico.

2.2 Material e Métodos

A área experimental localiza-se na fazenda Bom Retiro situada no município de Machado, no sul de Minas Gerais, com altitude de 1100 m. Na área ocorre apenas uma classe de solo, Cambissolo (EMBRAPA, 1999), desenvolvidas do gnaisse, com relevo predominante forte ondulado e declividades médias variando de 25 a 35%.

Foram selecionados dois talhões paralelos, sendo um talhão de 2,0 ha sob sistema convencional de produção por seis anos e outro de 2,8 ha sob sistema orgânico por sete anos. O espaçamento de plantio adotado é 2,80 x 0,60 m no sistema convencional e de 3,00 x 1,50 m no sistema orgânico.

O manejo empregado no sistema convencional é constituído de adubações, calagem, controle de pragas, doenças e de plantas daninhas com utilização de produtos fitossanitários. No sistema orgânico, as práticas realizadas constituem-se da adição de palha de café nas linhas da cultura, aplicação de calcário e uso do produto comercial Viça café plus, como fonte adicional de nutrientes. Neste sistema não há tratamento fitossanitário com agroquímicos para o controle de pragas e doenças.

O controle de plantas daninhas é realizado por meio de capina manual e mecânica, deixando o mato na entrelinha para proporcionar cobertura ao solo na maior parte do ano.

Coletaram-se amostras em transeções espaçadas de 16 m entre as linhas de plantio da cultura. Em cada transeção foram coletadas amostras de solo, espaçadas em 15 m acompanhando a linha de plantio da cultura, na profundidade de 0-20 cm (Figura 1).

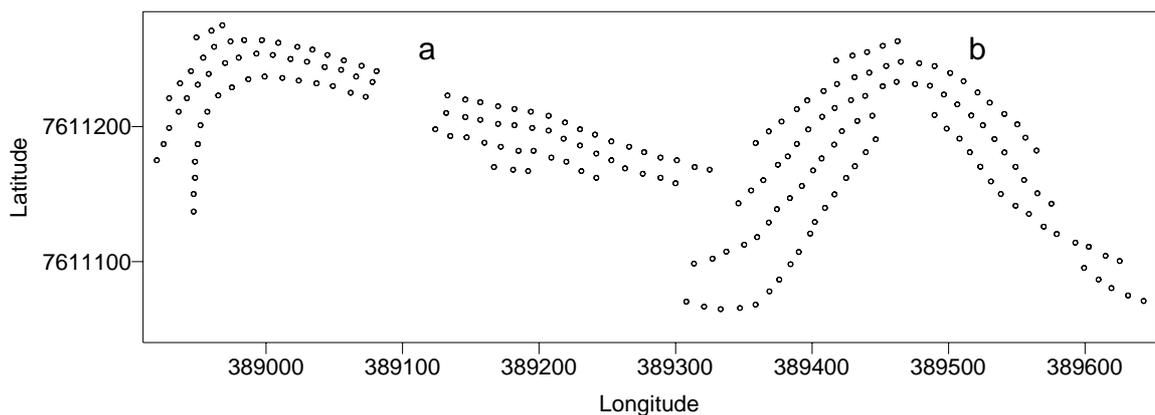


Figura 1. Esquema sistematizado da malha de amostragem de solo e planta para o sistema convencional (a) e orgânico (b).

Em cada ponto de amostragem foram coletadas, com a utilização de um trado tipo holandês, nove sub-amostras de solo, sendo três, em cada linha de plantio e três, nas entrelinhas. Essas sub-amostras foram misturadas para compor uma amostra composta representativa de cada ponto de amostragem, o que totalizou 98 amostras compostas para o sistema convencional e 103 para o sistema orgânico.

As amostras foram submetidas a análises químicas sendo determinados os valores de pH, matéria orgânica (MO), fósforo (P) e potássio (K), segundo procedimentos descritos por RAIJ et al. (1986), e a saturação por bases (V).

Para avaliação da produção nas safras de 2003/2004 e 2004/2005, os grãos foram coletados manualmente em seis plantas de café por ponto na malha, correspondentes aos mesmos pontos de amostragem de solo (Figura 1). Depois de coletados, os grãos foram submetidos a limpeza para separação de galhos e folhas, e medidos em recipiente graduado em litros para determinação da produção em cada ponto na malha.

Os dados foram submetidos a análise estatística descritiva, utilizando-se o programa SAS (1995). A análise da dependência espacial foi realizada por meio de ajuste de modelos de semivariogramas experimentais, utilizando-se o programa GS+ versão 7 (ROBERTSON, 2004). A seleção dos modelos foi realizada com base no melhor R^2 (Coeficiente de determinação). Os modelos de semivariogramas ajustados foram validados pela técnica de validação cruzada (CRESSIE, 1991).

No presente estudo, a relação $[C_0/(C_0+C_1) \times 100]$ foi caracterizada como proposto por CAMBARDELLA et al. (1994), considerando-se que, quando a relação for menor que 25%, a dependência é considerada forte, entre 25% e 75%, moderada e maior que 75%, fraca.

Com os modelos de semivariogramas ajustados, foram elaborados mapas de isovalores dos atributos do solo e produtividade da cultura, por meio de interpolação por krigagem, utilizando-se o programa GOLDEN SOFTWARE SURFER 7.0, (1999).

2.3 Resultados e Discussão

Os maiores valores médios dos atributos analisados foram observados no sistema convencional (Tabela 1). Os atributos pH e Potássio, tanto no sistema orgânico quanto no convencional, apresentaram valores próximos. Esse comportamento, para o atributo pH, provavelmente tenha sido favorecido pelo manejo adotado para correção da acidez do solo, que é igual nos dois sistemas. Quanto ao Potássio, esse comportamento pode ser explicado pela característica do material de origem (Gnaiss) predominante na região, que apresenta em sua constituição mineralógica o Feldspato potássico.

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros estatísticos para as variáveis estudadas.

Variáveis	N	Média	min.	max.	Desvio	Coeficiente		
						var.*	ass.	curt.
Sistema Convencional								
pH	98	4,3	3,7	5,4	0,37	9	0,42	-0,36
MO (g dm ⁻³)	98	37	21	59	6,82	19	1,00	0,93
P (mg dm ⁻³)	98	25	8	107	20,26	81	2,11	4,56
K (mmol _c dm ⁻³)	98	3,2	1	14	1,94	60	4,07	18,99
V (%)	98	34	7	76	17,81	52	0,37	-0,89
Prod. 2003/2004 (l)	98	84	61	112	10,26	12	0,35	-0,08
Prod. 2004/2005 (l)	98	87	66	113	8,78	10	0,11	0,19
Sistema Orgânico								
pH	103	4,5	3,8	5,9	0,42	9	0,65	0,32
MO (g dm ⁻³)	103	52,4	35	72	7,73	15	0,32	-0,35
P (mg dm ⁻³)	103	15,8	8	31	4,48	28	0,79	0,077
K (mmol _c dm ⁻³)	103	3,6	0,7	12,6	2,29	64	1,68	3,23
V (%)	103	39	12	85	17,15	44	0,60	-0,36
Prod. 2003/2004 (l)	103	29	12	46	8,05	28	-0,16	-0,70
Prod. 2004/2005 (l)	103	12	3	24	5,19	42	0,26	-0,93

*=%; N=número de dados observados; min.=mínimo; max=máximo; var=variação; ass.=assimetria; curt.=curtose; MO=matéria orgânica; P=fósforo; K=potássio; V=saturação por bases; prod.=produção de seis plantas; l=litros.

Verifica-se ainda, que as maiores produtividades médias da cultura são observadas no sistema convencional. Esses valores, provavelmente sejam resposta a adubações minerais, de alta solubilidade e de fácil absorção pela planta, realizadas neste sistema de produção. É esperado que, em sistema orgânico de produção agrícola, ocorra redução na produtividade da cultura. Esse fato deve-se a aplicações de rocha moída e produtos orgânicos de baixa solubilidade como fonte de nutrientes, o que dificulta a absorção pelas plantas.

O maior valor médio de Matéria Orgânica observado no sistema orgânico de produção deve-se ao acúmulo sucessivo de restos culturais na lavoura. Neste sistema de produção, além da adição da palha do café na entrelinha de plantio, o controle de plantas daninhas é realizado por meio de capina manual e mecânica, deixando o mato na entrelinha, para proporcionar cobertura ao solo na maior parte do ano.

A amplitude dos dados, expressa pelos valores mínimo e máximo, é maior no sistema convencional para Fósforo e Produtividade da cultura nos anos agrícolas de 2003/2004 e 2004/2005 e, menor apenas para pH. Os atributos Matéria Orgânica, Potássio e Saturação por Bases comportaram-se de forma semelhante. Provavelmente, essa amplitude para esses atributos esteja associada às adubações efetuadas na linha de plantio das culturas.

A partir dos resultados de amplitude, nota-se que, nos dois sistemas avaliados, há locais em que as aplicações de fertilizantes estão subdimensionadas, e em outros, tais aplicações são excessivas, se levado em consideração o valor médio dos atributos analisados. Segundo FRANÇA et al. (2000), esse desequilíbrio nas aplicações de fertilizante, resulta em reduções no rendimento e qualidade dos produtos, principalmente em locais em que as concentrações de nutrientes são baixas e deficientes.

Segundo os limites para coeficiente de variação (CV) proposto por WILDING & DREES (1983), os atributos pH, Produção nos anos agrícolas de 2003/2004 e 2004/2005 no sistema convencional e, pH e Matéria Orgânica no sistema orgânico apresentaram baixos valores de CV ($CV < 15\%$). Os atributos que

apresentaram valores moderados de CV ($15\% < CV < 35\%$) foram Matéria Orgânica no sistema convencional; Fósforo e Produção 2003/2004 no sistema orgânico. Já Fósforo, Potássio e Saturação por Bases no sistema convencional e Potássio, Saturação por Bases e Produção no ano agrícola de 2004/2005 no sistema orgânico apresentaram altos valores de CV ($CV > 35\%$). Resultados semelhantes para atributos de solo foram observados por ARAUJO (2002), SILVA et al. (2003) e QUAGLIARIELLO (2004) e em produtividade de cultura por SILVA et al. (2003).

Os maiores valores de coeficiente de variação para os atributos Matéria Orgânica, Fósforo e Saturação por Bases foram observados no sistema convencional, indicando ser este o sistema que apresenta maior variabilidade nos dados. Esta variabilidade, provavelmente, esteja sendo proporcionada pelas aplicações de insumos e pelo manejo da lavoura. Aliado a esses fatos, o efeito residual de adubações anteriores poderia estar induzindo maior variabilidade.

Observa-se que todos os atributos de solo e produtividade da cultura no sistema convencional (Figuras 2, 3 e 4) e sistema orgânico (Figuras 5, 6 e 7) apresentaram dependência espacial expressa pelos modelos de semivariogramas. Esses modelos foram ajustados pelos coeficientes de determinação (R^2) que no sistema convencional variou de 0,18 para Saturação por Bases (Figura 3b) a 0,84 para Matéria Orgânica (Figura 2b), enquanto no sistema orgânico, esse coeficiente foi superior a 0,80 para a maioria dos atributos analisados, apenas pH (Figura 5a) e Fósforo (Figura 5c) apresentaram coeficiente de determinação de 0,74 e 0,69 respectivamente.

Todos os semivariogramas no sistema convencional ajustaram-se bem ao modelo esférico, enquanto no sistema orgânico, os modelos que melhor se ajustaram foram o gaussiano e exponencial. Vários pesquisadores (TRANGMAR et al., 1987; SOUZA, 1992; SALVIANO et al., 1995; PAZ et al., 1996) encontraram o modelo esférico como o mais adaptado para descrever o comportamento de semivariogramas de atributos de solos e plantas.

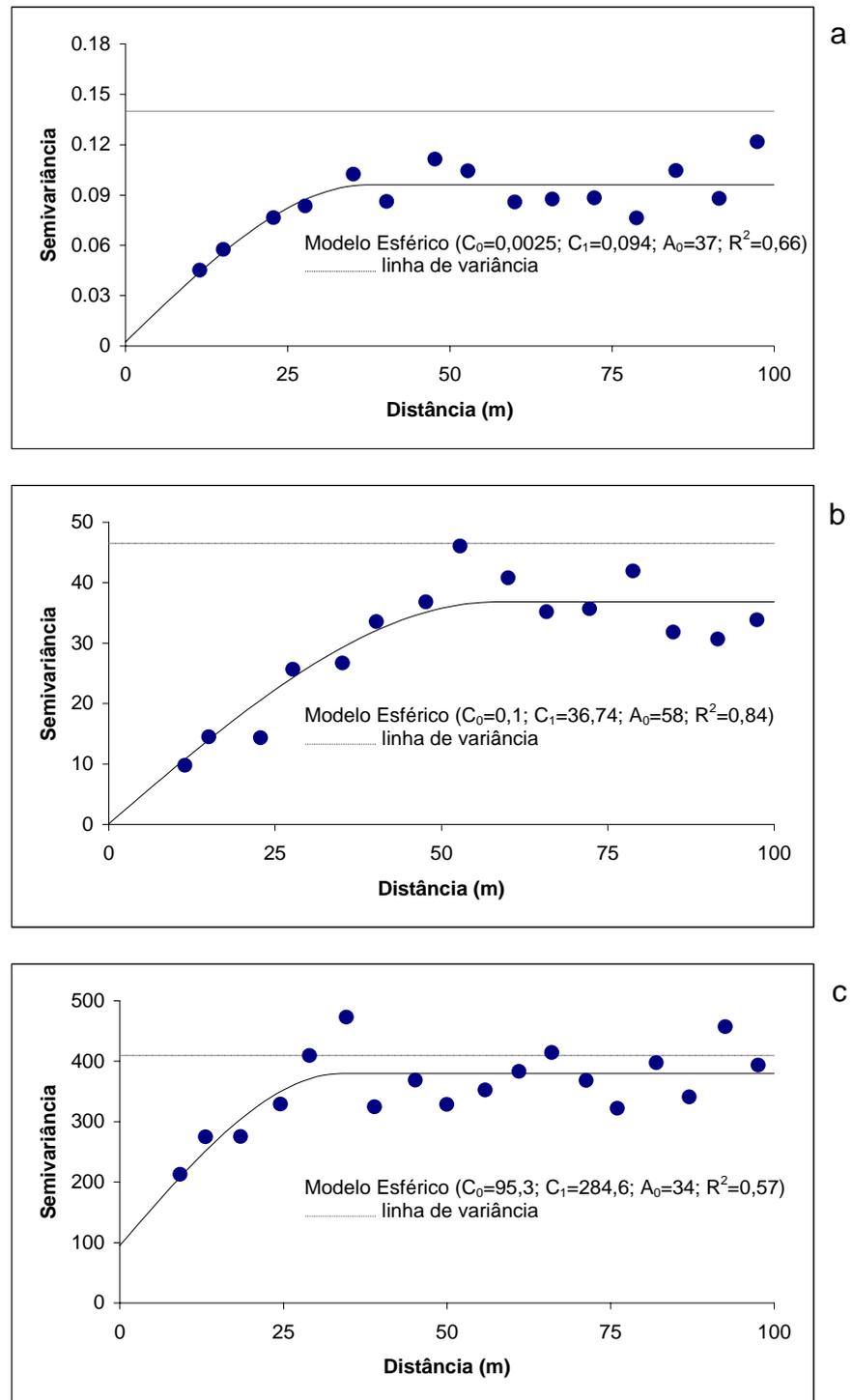


Figura 2. Semivariogramas para os atributos pH (a), Matéria Orgânica (b) e Fósforo (c) no sistema convencional.

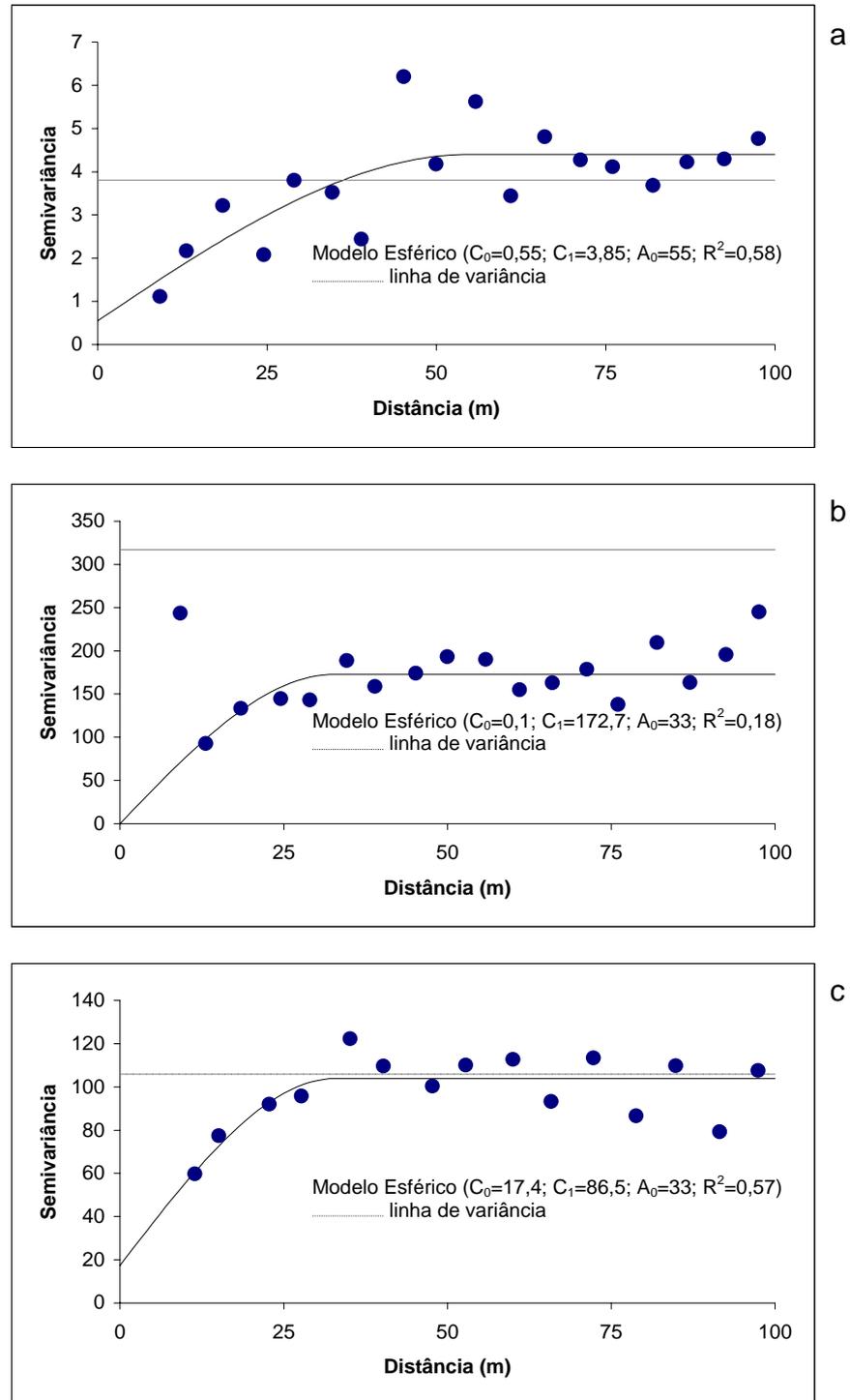


Figura 3. Semivariogramas para os atributos Potássio (a), Saturação por Bases (b) e Produção na safra 2003/2004 (c) no sistema convencional.

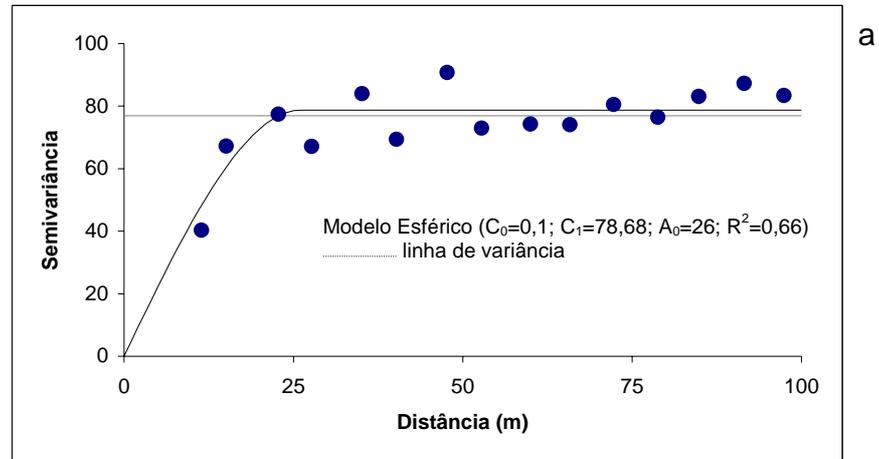


Figura 4. Semivariogramas para Produção na safra 2004/2005 (a) no sistema convencional.

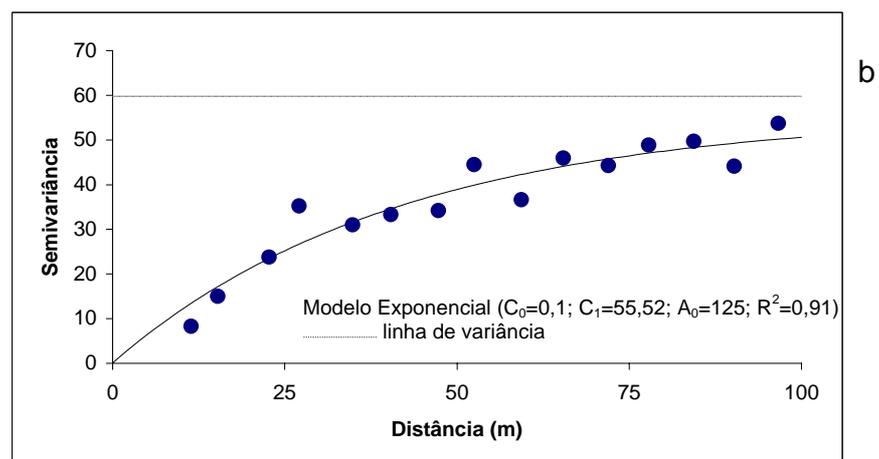
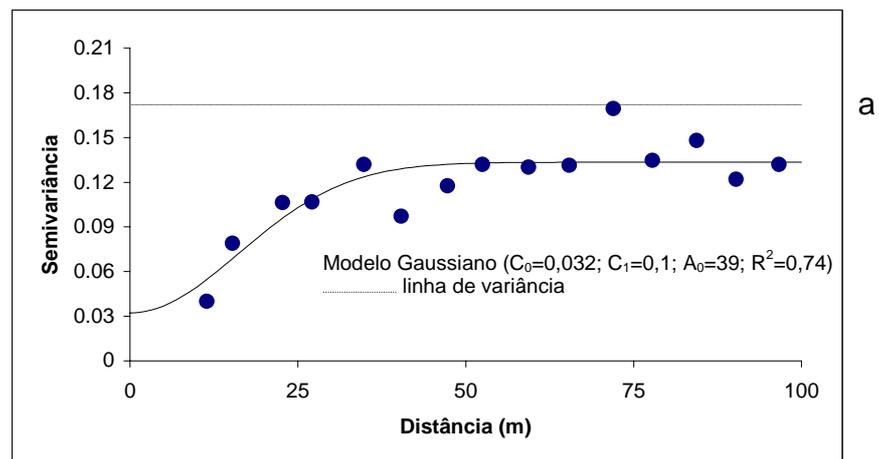


Figura 5. Semivariogramas para os atributos pH (a), Matéria Orgânica (b) no sistema orgânico.

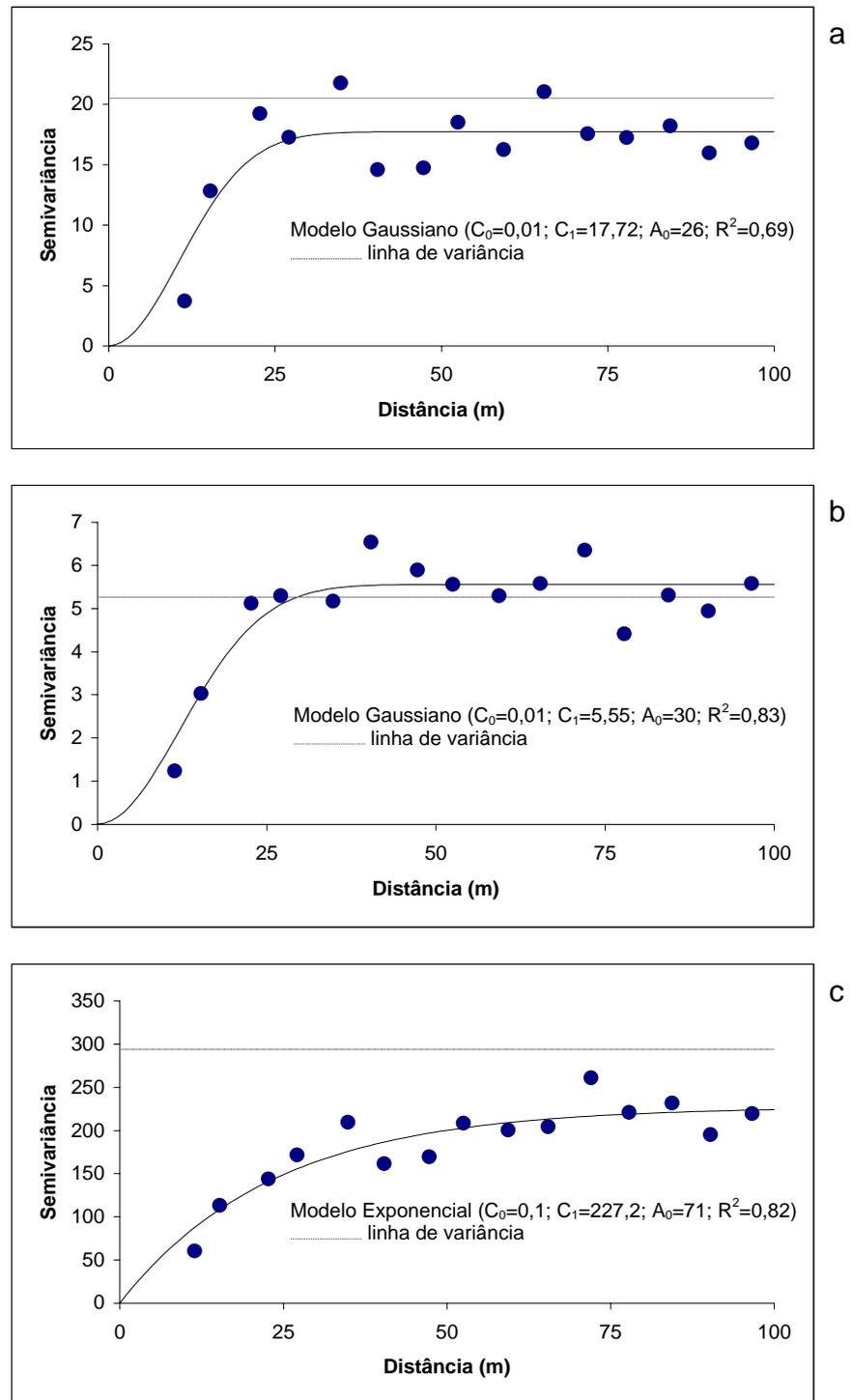


Figura 6. Semivariogramas para os atributos Fósforo (a), Potássio (b) e Saturação por Bases (c) no sistema orgânico.

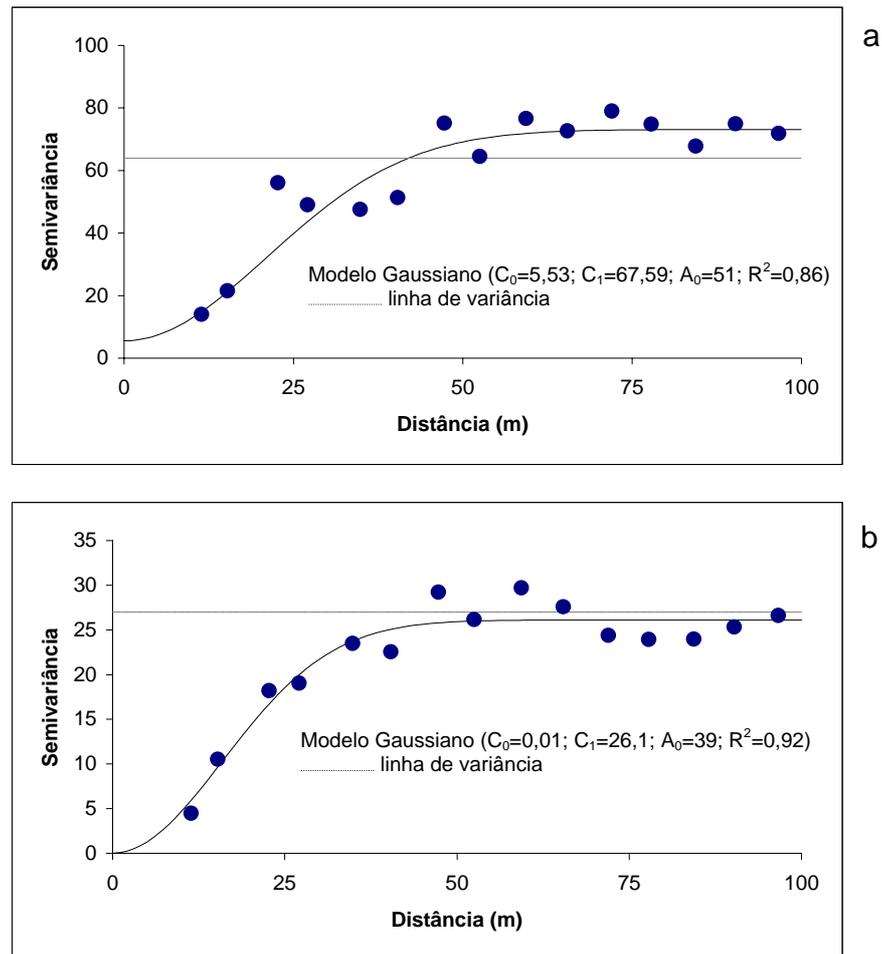


Figura 7. Semivariogramas para os atributos Produção na safra 2003/2004 (a) e Produção na safra 2004/2005 (b) no sistema orgânico.

O efeito pepita (C_0) é um parâmetro importante do semivariograma e indica variabilidade não explicada, que pode ser devida a erros de medidas ou microvariações não detectada, considerando a distância de amostragem utilizada (CAMBARDELLA, et al., 1994). No entanto, é importante quantificar a contribuição individual dos erros de medições ou da variabilidade para cada atributo analisado (ARZENO, 1990).

O efeito pepita pode ser expresso como percentagem do patamar, com o objetivo de facilitar a comparação do grau de dependência espacial dos atributos em estudos (TRANGMAR et al., 1985). Para analisar o grau de dependência

espacial dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita $\leq 25\%$ do patamar, de dependência espacial moderada, quando o efeito pepita está entre 25 e 75%, e de dependência fraca, quando o efeito pepita é $> 75\%$.

A análise do efeito pepita dos atributos do solo e planta nos dois sistemas de manejo mostrou que seus semivariogramas são de dependência espacial forte. Como a produção da cultura é consequência de uma combinação de fatores do solo, a dependência espacial forte para produção na safra 2003/2004 e 2004/2005, nos dois sistemas de manejo, deve ser associada a variações intrínsecas do conjunto de característica do solo.

Estes resultados estão de acordo com FARIAS et al. (2003) e SILVA et al. (2003), que estudando a variabilidade da produtividade de citros e do milho, respectivamente, encontraram as mesmas relações de dependência espacial entre solo e planta.

O alcance da dependência espacial representa a distância máxima que um atributo está correlacionado espacialmente entre si (JOURNEL & HUIBREGTS, 1991), e o seu conhecimento é importante na definição de uma ótima intensidade de amostragem, visando a reduzir o erro-padrão da média, além de aumentar a representatividade da amostra. Conclui-se, então, que o alcance é uma medida importante para o planejamento e avaliação experimental, já que pode auxiliar na definição de procedimentos de amostragem.

No sistema convencional, o alcance da dependência espacial variou de 26 m para Produção na safra de 2004/2005 (Figura 4a) a 58 m para Matéria Orgânica (Figura 2b) e, no sistema orgânico variaram de 26 m para Fósforo (Figura 5c) a 125 m para Matéria orgânica (Figura 5b).

Tais resultados têm uma implicação prática importante na condução de experimentos, porque define a distância em que os atributos estão espacialmente correlacionados entre si. Segundo VIEIRA & LOMBARDI NETO (1995), o valor do alcance de um atributo garante que todos os vizinhos situados dentro de um

círculo com raio igual ao alcance são similares que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles.

A principal finalidade da modelagem da estrutura da dependência espacial, a partir dos modelos de semivariogramas, é a possibilidade de estimar, por interpolação, os valores de atributos de solos e produtividade das culturas em locais não amostrados. Essa interpolação é representada por mapas de isovalores da distribuição destes atributos. No presente estudo, estes mapas possibilitaram uma melhor visualização da distribuição espacial dos atributos de solo e produtividade (Figuras 8 a 11).

Observa-se na Figura 8 (pH) que existem basicamente duas zonas de manejo separadas pela classificação agrônômica proposta pela CFSEMG (1999). Esses valores foram classificados como muito baixo (<4,5) e baixo (4,5 a 5,4).

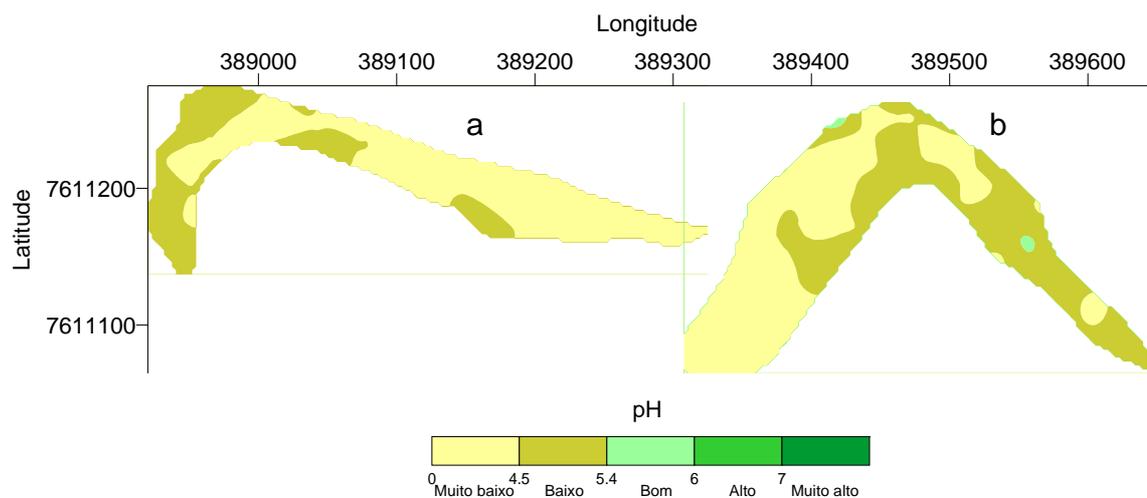


Figura 8. Mapas de isovalores para o atributo pH no sistema convencional (a) e orgânico (b).

Na Figura 9 são apresentados os mapas de isovalores para Matéria Orgânica e Fósforo. Nota-se que o atributo Matéria Orgânica apresentou valores classificados como médio (20-40) em aproximadamente 90% da área sob sistema convencional de manejo e bom (40-60) em aproximadamente 99% no sistema orgânico.

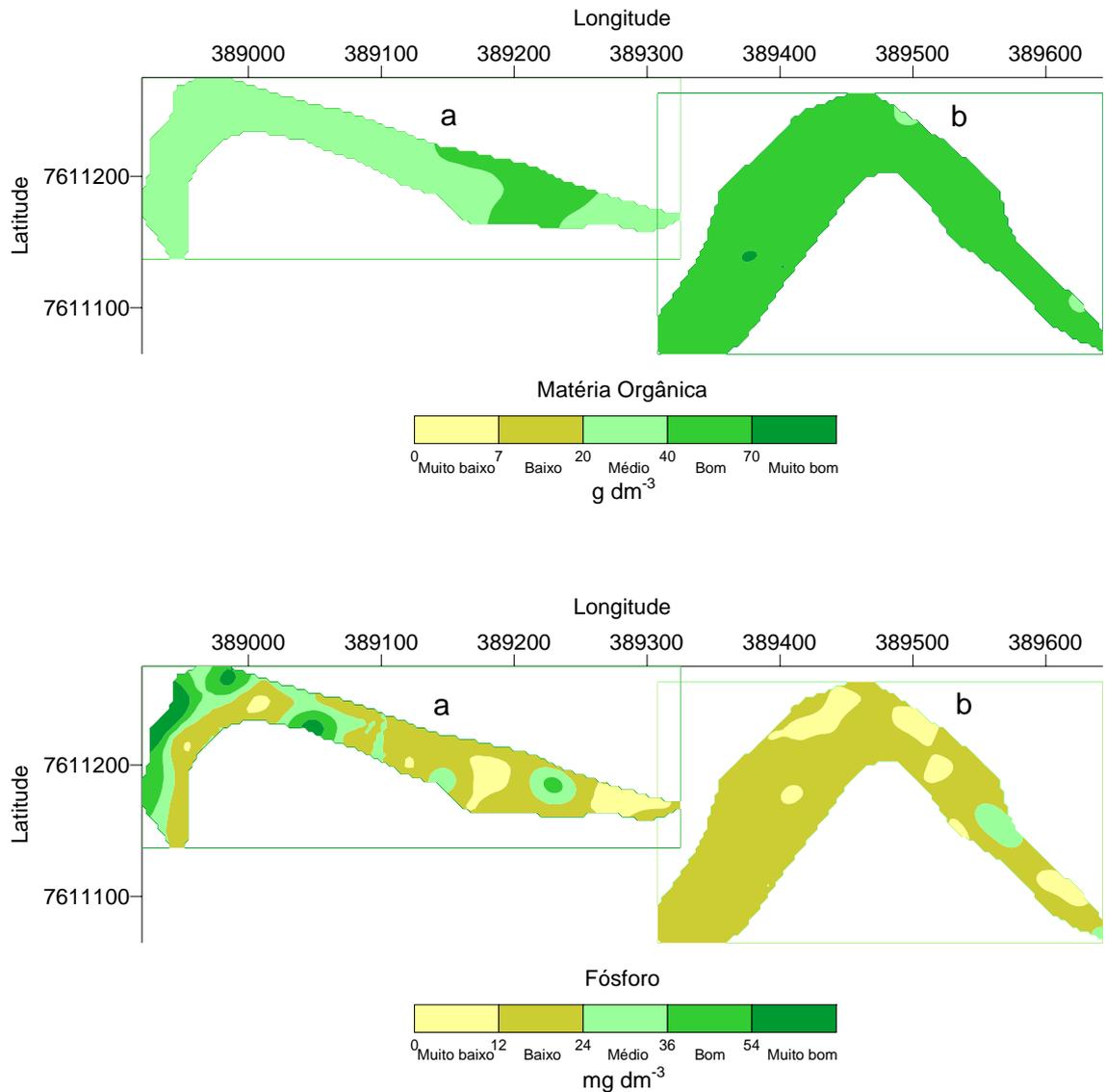


Figura 9. Mapas de isovalores para os atributos Matéria Orgânica e Fósforo no sistema convencional (a) e orgânico (b).

O Fósforo no sistema convencional apresenta todos os níveis de fertilidade propostos pela CFSEMG (1999). Para este atributo, no sistema convencional, é difícil o manejo localizado, pois há maior variabilidade espacial quando comparado com o sistema orgânico. No sistema Orgânico, os valores de Fósforo variaram, em 90% da área aproximadamente, nos níveis baixos (12 a 24).

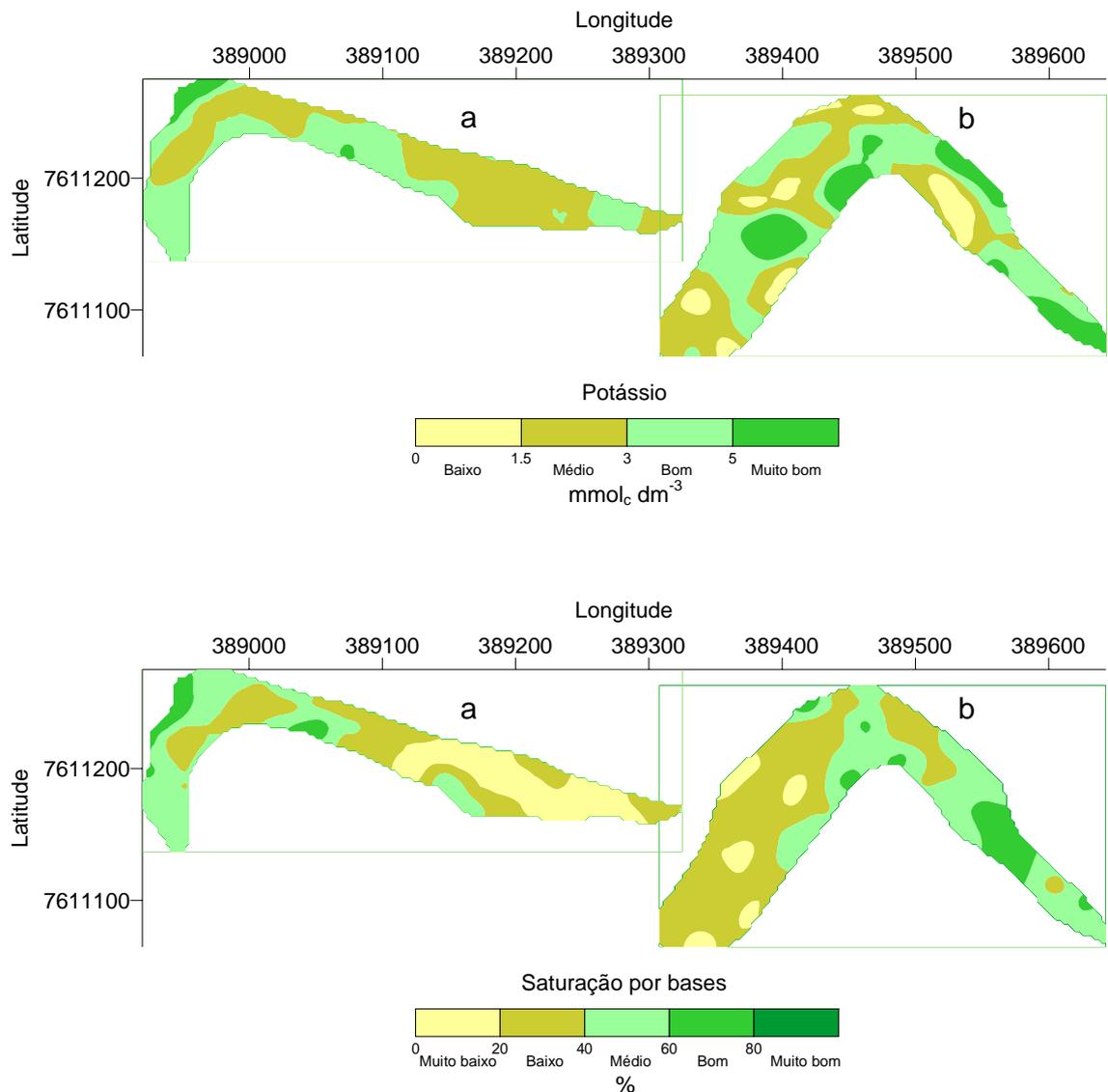


Figura 10. Mapas de isovalores para os atributos Potássio e Saturação por Bases no sistema convencional (a) e orgânico (b).

Na Figura 10 são apresentados os mapas de isovalores para os atributos Potássio e Saturação por Bases. Para o atributo Potássio, verifica-se que, no sistema convencional, este elemento varia de médio (1,5 a 3) a muito bom (>5), enquanto no sistema Orgânico, observa-se maior variabilidade para o atributo Potássio.

A cultura do café necessita de uma Saturação por Base de 60%. Nos dois sistemas de produção avaliados percebe-se que há zonas específicas de manejo para esse atributo. Essas zonas podem ser separadas pelos níveis de Saturação por Bases na área, sendo uma zona caracterizada por valores, com variação de até 40% e outra com limites superiores a 40%.

Na Figura 11 são apresentados os mapas de produtividade da cultura do café nas safras de 2003/2004 e 2004/2005. Percebe-se que nos dois sistemas de manejo houve um aumento na variabilidade da produtividade de um ano agrícola para o outro. Essas variações podem ser atribuídas a práticas de adubações e calagens empregadas nos sistemas. Partindo do princípio de que a área é homogênea, as adubações e calagem são realizadas uniformemente, o que tem provocado dosagens excessivas ou deficiências de alguns elementos essenciais, que provavelmente tenham ocasionado baixas produções na safra 2004/2005 no sistema orgânico quando comparado com a safra 2003/2004 neste mesmo sistema.

A partir da análise desses mapas, fica evidente o problema de se usar o valor médio para recomendação de adubação e correção do solo. Para uma recomendação de adubação fosfatada, por exemplo, no sistema convencional (Figura 10), e levando em consideração o valor médio de 25 mg dm^{-3} deste elemento, as recomendações não supririam a necessidade da lavoura para este elemento.

Com o manejo localizado, a partir da análise preliminar do mapa de Fósforo, verifica-se a existência de locais que apresentam valores superiores a 36 mg dm^{-3} (bom a muito bom) e inferiores a 24 mg dm^{-3} (baixo a muito baixo). Sendo a recomendação de adubação fosfatada feita a partir do valor médio,

haverá locais que receberão doses excessivas de adubos e em outros, tais dosagens seriam insuficientes para suprir a necessidade da cultura. Essa situação pode ser observada também para os atributos Potássio e Saturação por Bases, o que pode ter proporcionado variabilidade à produtividade da cultura.

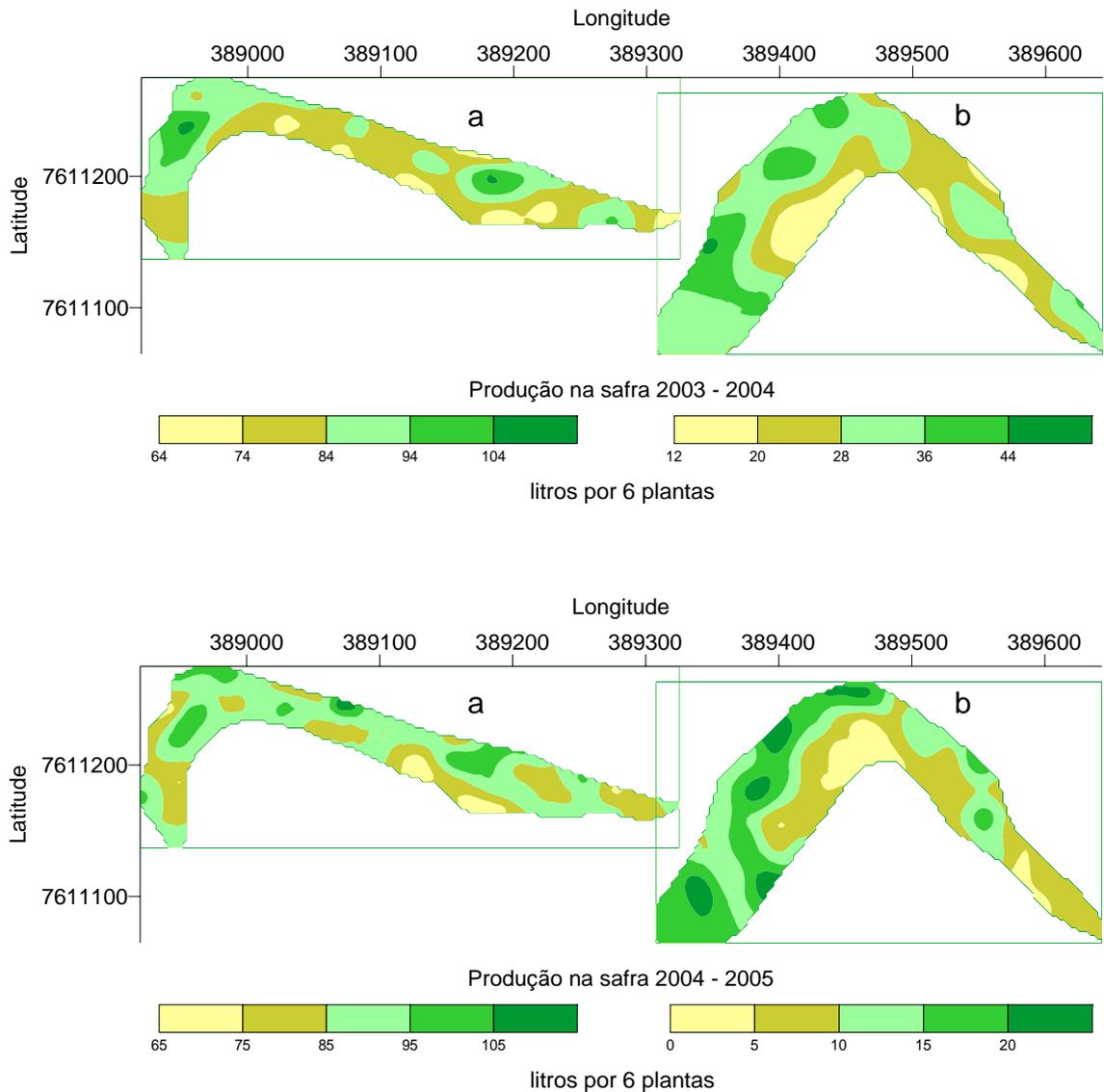


Figura 11. Mapas de isovalores para o atributo Produção nas safras 2003/2004 e 2004/2005 no sistema convencional (a) e orgânico (b).

Portanto, a partir de observações dos mapas de isovalores, pode-se constatar que além de reduzir erros de interpretações, é possível definir zonas homogêneas de manejo as quais caracterizam a área e forneçam subsídios para um manejo mais eficiente e econômico da cultura, o que sugere critérios para aplicação de calcário e fertilizantes a taxas variáveis.

2.4 Conclusões

1. Todos os atributos de solo estudados e produtividade da cultura apresentaram grau de dependência espacial forte.
2. Deve-se desconsiderar o valor médio dos atributos de solo quando se pretende realizar correção e nutrição de plantas. Para esta finalidade, aconselha-se o manejo localizado.
3. A partir dos mapas de isovalores foi possível definir zonas de altas e baixas fertilidades, que sugerem manejo regionalizado.

2.5 Referências

ARAUJO, A. V. **Variabilidade espacial de propriedades químicas e granulométricas do solo na definição de zonas homogêneas de manejo.** 2002.80f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2002.

ARZENO, J. L. **Avaliação física de diferentes manejos de solo em um latossolo Roxo-distrófico.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queróz” – USP, 1990. 259p. (Tese de Doutorado).

BALASTREIRE, L. A.; AMARAL, J. R.; LEAL, J. C. G. Agricultura de precisão: Mapeamento da produtividade de uma cultura de café. <http://www.ciagri.usp.br/~leia/resucafe.htm>. 2001.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 58:1501-1511, 1994.

CFESMG (Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** 1999. 359p.

CORÁ, J. E. **The potential for site-specific management of soil and corn yield variability induced by tillage.** East Lansing, MI. Tese de doutoramento apresentada à Michigan State University, USA. 104p. 1997.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; & BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:1013-1021, 2004.

CORÁ, J. E.; MARQUES JÚNIOR, J. Atributos do solo para agricultura de precisão. In: SILVA, F. M. (oord). **Simpósio de Mecanização e agricultura de precisão**. XXVII COMBEA. Poços de Caldas. p.31-70. 1998.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York, John Wiley, 1991. 900p.
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

FARIAS, P. R. S.; NOCITI, LETICIA A.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 25, n. 2, p. 235-241, 2003.

FRANÇA, G. E.; OLIVEIRA, A. C.; MANTOVANI, E. C.; ANDRADE, C. L. T.; MARRIEL, I. E. Análise preliminar de mapas de variabilidade espacial da fertilidade de solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES, V. R.; SCHAEFFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa/Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2000. p. 339-356.

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**. UNICAMP (Dissertação de mestrado - FEAGRI). 145p. 1999.

McBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. **Precision Agriculture**, Guilford, v.1, p.125-152, 1999.

PAZ, A.; TABOADA, M. T.; GÓMEZ, M. J. Spatial variability in topsoil micronutrients contents in one-hectare cropland plot. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, 27:479-503, 1996.

QUAGLIARIELLO, V. **Variabilidade espacial de atributos de solo em áreas sob pivô central e diferentes manejos**. 2004.71f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2004.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; SILVA, N.M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.17, p.544-566, 1986.

ROBERTSON, G. P. GS+: Geostatistics for the environmental sciences. Versão 7.0, Paninwell, Gamma Desing Software, 2004. 152p.

SÁ, M. F. M. **Abordagem quantitativa na predição espacial de atributos do solo e geração de zonas de manejo agrícola**. 117 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2001.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Dependência espacial dos teores de macronutrientes da parte aérea da Crotalaria Juncea em área de erosão acelerada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995, Resumo expandido. Campinas, SBCS, 1995. p.1798-1799. v.4.

SARTORI, S.;FAVA, J. F. M.; DOMINGUES, E. L.;RIBEIRO FILHO, A. C.; SHIRAI, S. E. Mapping the spatial variability of coffee yield with mechanical harvester. **Proceedings of the World Congress of Computers in Agriculture and Nature Resources**, ASAE, p.196-200, 2002.

SAS Institute. **SAS/SAT user's guide: Version 6**. SAS Inst., Cary, 1995.

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**, v.27, n.6, p.1013-1020, 2003.

SOUZA, L. S. **Variabilidade especial do solo em sistemas de manejo**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 192. 141p. (Tese de Doutorado).

SURFER for windows. **Release 7.0. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers. User's Guide**. New York: Golden software, 1999. 619p.

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

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 Sci. Soc. Am. J.** 51:668-674, 1987.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, 54:405-412, 1995.

WILDING, L.P. & DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P. & DREES, L.R., eds. **Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions**. New York, Elsevier, 1983. p.83-116.

CAPÍTULO 3 – VARIABILIDADE ESPACIAL DO BORO, COBRE, FERRO, MANGANÊS E ZINCO EM SOLO CULTIVADO COM CAFÉ ORGÂNICO E CONVENCIONAL

RESUMO – O objetivo deste trabalho é avaliar a distribuição espacial de Boro, Cobre, Ferro, Manganês e Zinco em áreas com café convencional e orgânico. Foram feitas amostragens de solos em espaçamentos regulares de 15m na transeção e 16m entre transeção na profundidade de 0-20cm, totalizando 98 pontos amostrais no sistema convencional e 103 no sistema orgânico. Para cada um dos atributos estudados, foram obtidas as estatísticas descritivas, os semivariogramas e os mapas de isovalores utilizando o método de interpolação por krigagem. Com exceção do Cobre, todos os valores médios foram maiores no sistema orgânico de produção. Com exceção do Zinco, o sistema convencional apresentou as maiores variabilidades dos dados, expressa pelos valores do coeficiente de variação. Os menores alcances de dependência espacial, com exceção do Boro, foram observados no sistema convencional, indicando maior descontinuidade espacial dos atributos do solo neste sistema de produção. A partir dos mapas de isovalores foi possível caracterizar locais que se enquadraram nas classes alta e baixa para os atributos estudados. Portanto, o estudo da variabilidade espacial, associado à utilização de mapas de isovalores para Boro, Cobre, Ferro e Zinco, auxiliou na identificação de zonas homogêneas de manejo.

Palavras-Chave: atributos do solo, geoestatística, krigagem, café

3.1 Introdução

A agricultura brasileira passa por uma fase em que a produtividade, a eficiência, a lucratividade e a sustentabilidade dos processos produtivos são aspectos da maior relevância. Nesse contexto, os micronutrientes, cuja importância é conhecida há décadas, apenas mais recentemente passaram a ser utilizados de modo mais rotineiro nas adubações em várias regiões e para as mais diversas condições de solo, clima e culturas no Brasil.

Elementos como Boro, Cobre, Ferro, Manganês e Zinco são importantes no desenvolvimento e produtividade das culturas e seus suprimentos ocorrem a partir de reservas do solo ou aplicação por adubações. O conhecimento da disponibilidade e distribuição espacial desses nutrientes facilita aplicações visando economia e equilíbrio.

Segundo SFREDO et al. (1997), Boro, Cobre, Manganês e Zinco são elementos que apresentam baixa disponibilidade nos solos brasileiros. Essa disponibilidade, para as plantas, depende, entre outros fatores, da matéria orgânica, e, principalmente, do pH do solo (BATAGLIA, 1991).

De acordo com MALAVOLTA (1986), a deficiência destes elementos pode provocar redução no desenvolvimento da planta e quebra de até 30% na produtividade das culturas, mesmo quando todos os outros nutrientes essenciais estejam presentes em quantidades adequadas.

COUTO & KLANT (1999), em trabalhos sobre a variabilidade espacial de micronutrientes em solo numa área sob pivô central, verificaram que a deficiência destes elementos refletiu diretamente na produtividade de grãos de milho. Para esses mesmos autores, a deficiência de Boro, Cobre, Manganês e Zinco deve-se a quantidades insuficientes de fertilizantes aplicados. Relataram ainda que as práticas de fertilização e o manejo do solo não são eficientes na distribuição e homogeneização dos fertilizantes, e que um estudo da distribuição espacial sugere o conhecimento de locais com maior ou menor necessidade destes elementos.

Deste modo, uma das formas de minimizar o desequilíbrio nutricional provocado pelas aplicações de fertilizantes nas culturas é particularizar o manejo a partir do conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo.

O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo é essencial para produzir interpretações seguras, com o objetivo de obter eficientes predições do seu desempenho em locais específicos.

Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar a variabilidade espacial dos atributos Boro, Cobre, Ferro, Manganês e Zinco em área cultivada com café em sistemas de produção convencional e orgânico, visando à definição de zonas específicas de manejo para esses atributos.

3.2 Material e Métodos

A área experimental localiza-se na fazenda Bom Retiro situada no município de Machado, no sul de Minas Gerais, com altitude de 1100 m. Na área ocorre apenas uma classe de solo, Cambissolo (EMBRAPA, 1999), desenvolvida do Gnaisse, com relevo predominante forte ondulado e declividades médias variando de 25 a 35%.

Foram selecionados dois talhões paralelos, sendo um talhão de 2,0 ha sob sistema convencional de produção por seis anos e outro de 2,8 ha sob sistema orgânico por sete anos. O espaçamento de plantio adotado é 2,80 x 0,60 m no sistema convencional e de 3,00 x 1,50 m no sistema orgânico.

O manejo empregado no sistema convencional é constituído de adubações, calagem, controle de pragas, doenças e de plantas daninhas com utilização de produtos fitossanitários. No sistema orgânico as práticas realizadas constituem-se da adição de palha de café nas linhas da cultura, aplicação de calcário e uso do produto comercial viça café plus, como fonte adicional de nutrientes. Neste sistema não há tratamento fitossanitário com agroquímicos para o controle de pragas e doenças.

O controle de plantas daninhas é realizado por meio de capina manual e mecânica, deixando o mato na entrelinha para proporcionar cobertura ao solo na maior parte do ano.

Coletaram-se amostras em transeções espaçadas de 16,0m entre as linhas de plantio da cultura. Em cada transeção foram coletadas amostras de solo, espaçadas em 15,0 m acompanhando a linha de plantio da cultura, na profundidade de 0-20 cm (Figura 1).

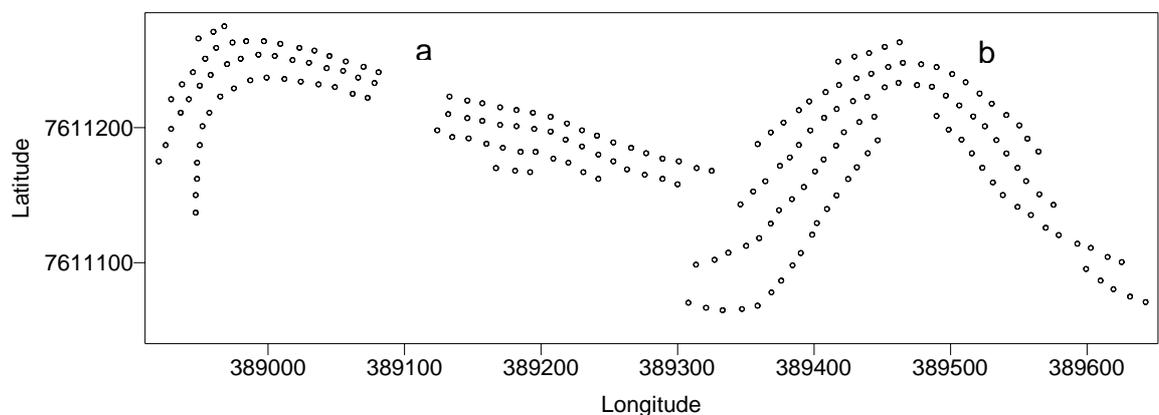


Figura 1. Esquema sistematizado da malha de amostragem de solo para o sistema convencional (a) e orgânico (b).

Em cada ponto de amostragem foram coletadas, com a utilização de um trado tipo holandês, nove sub-amostras de solo, sendo três em cada linha de plantio e três nas entrelinhas. Essas sub-amostras foram misturadas para compor uma amostra composta representativa de cada ponto de amostragem, o que totalizou 98 amostras compostas para o sistema convencional e 103 para o sistema orgânico.

Os teores de Cobre (Cu), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Zinco (Zn) foram extraídos por DTPA, segundo LINDSAY & NORVELL (1978), e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O teor de Boro (B) foi extraído por água quente e determinado por colorimetria.

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, utilizando-se o programa SAS (1995). A análise da dependência espacial foi realizada por meio

de ajuste de modelos de semivariogramas experimental, utilizando-se o programa GS+ versão 7 (ROBERTSON, 2004). A seleção dos modelos foi realizada com base no melhor R^2 (Coeficiente de determinação). Os modelos de semivariogramas ajustados foram validados pela técnica de validação cruzada (CRESSIE, 1991).

No presente estudo a relação $[C_0/(C_0+C_1) \times 100]$ foi caracterizada como proposto por CAMBARDELLA et al. (1994), considerando-se que quando a relação for menor que 25% a dependência é considerada forte, entre 25% e 75% moderada, e maior que 75% fraca.

Com os modelos de semivariogramas ajustados foram elaborados mapas de isovalores dos atributos do solo e produtividade da cultura, por meio de interpolação por krigagem, utilizando-se o programa GOLDEN SOFTWARE SURFER 7.0, (1999).

3.3 Resultados e Discussão

As medidas descritivas calculadas para os atributos de solo amostrados encontram-se na Tabela 1. Não é objetivo deste trabalho verificar a distribuição de freqüência exata dos atributos estudados. Portanto, os coeficientes de assimetria e curtose são apresentados para efeito comparativo.

Considerando os valores (Tabela 1) e a análise da distribuição de freqüência (Figura 2), observa-se que os dados de Boro e Zinco no sistema convencional e Ferro no sistema orgânico aproximaram-se da distribuição normal. Os dados de Cobre e Ferro no sistema convencional e Cobre no sistema orgânico indicaram outra distribuição de freqüência, no caso, a lognormal. Neste estudo, apenas o Boro no sistema orgânico apresenta distribuição normal. Os demais atributos, Manganês no sistema convencional e Manganês e Zinco no sistema orgânico, não se ajustaram a nenhuma distribuição de freqüência testada.

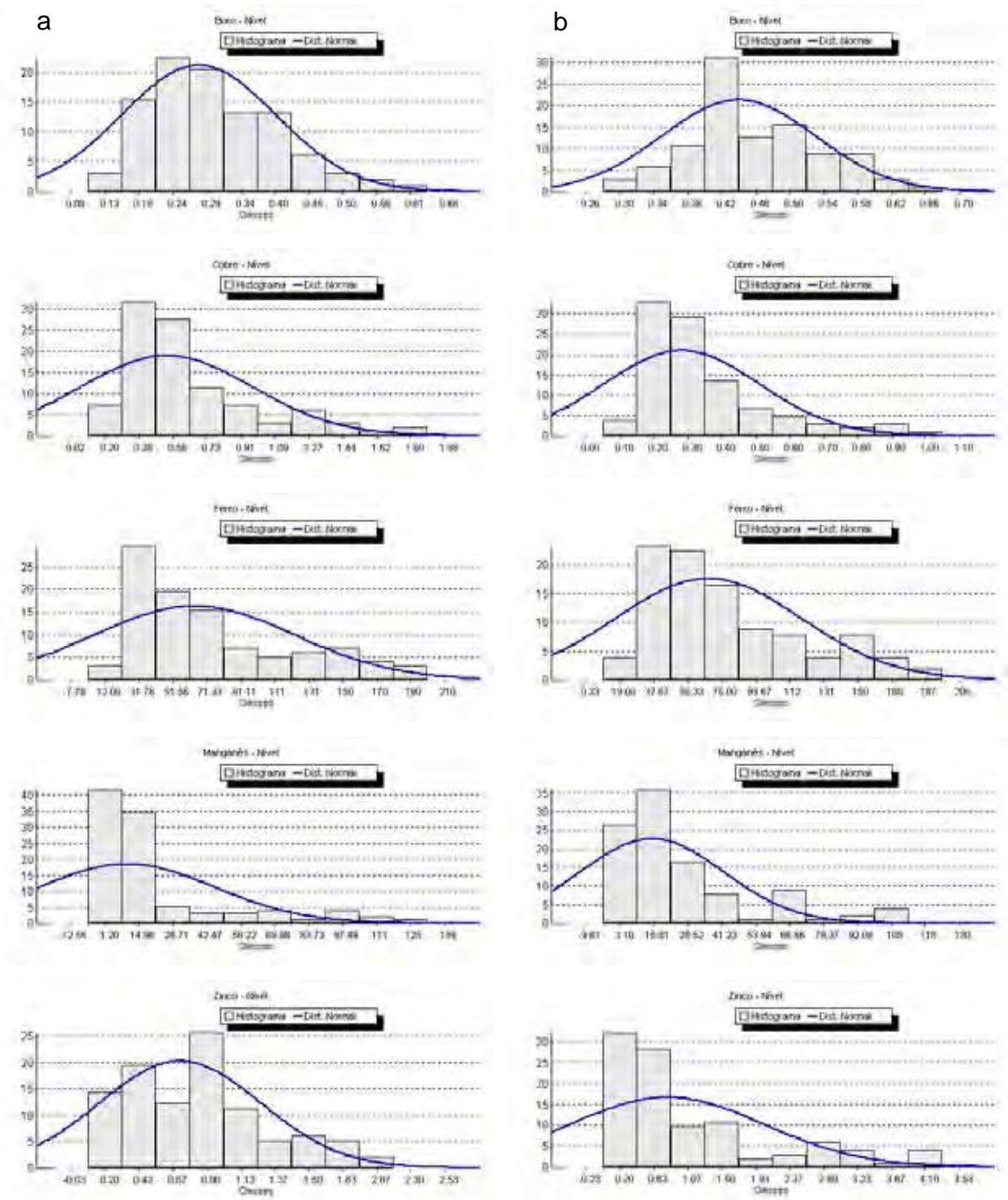


Figura 2. Distribuição de freqüência para os atributos analisados no sistema convencional (a) e orgânico (b).

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros estatísticos para as variáveis estudadas.

Variáveis	N	Média	Min.	Max.	Desvio	Coeficiente		
						var.*	ass.	curt.
Sistema Convencional								
Boro (mg dm ⁻³)	98	0,3	0,13	0,61	0,1	33	0,71	0,23
Cobre (mg dm ⁻³)	98	0,6	0,2	1,8	0,38	59	1,30	1,20
Ferro (mg dm ⁻³)	98	74	12	190	48,47	65	0,92	-0,34
Manganês (mg dm ⁻³)	98	21,7	1,2	125	29,7	136	2,03	3,07
Zinco (mg dm ⁻³)	98	0,85	0,2	2,3	0,46	54	0,79	0,22
Sistema Orgânico								
Boro (mg dm ⁻³)	103	0,45	0,3	0,66	0,08	17	0,33	-0,21
Cobre (mg dm ⁻³)	103	0,35	0,1	1	0,19	55	1,51	2,06
Ferro (mg dm ⁻³)	103	77	19	187	42,31	55	0,86	-0,26
Manganês (mg dm ⁻³)	103	25,24	3,1	117,5	22,34	89	1,78	3,20
Zinco (mg dm ⁻³)	103	1,12	0,2	4,1	1,04	93	1,49	1,15

*=%; N=número de dados observados; min.=mínimo; max=máximo; var=variação; ass.=assimetria; curt.=curtose.

O conhecimento da distribuição de frequência dos dados tem importantes conseqüências, pois a análise de variância e os testes de significância baseiam-se na distribuição normal. Assim, dados que seguem uma distribuição diferente da normal devem ser transformados. No entanto, isto não deve ser objeto de maiores preocupações, já que a produção (Tabela 1, capítulo 2) na safra 2003/2004 e 204/2005, nos dois sistemas de manejo, foi normalmente distribuída.

Nas situações em que a distribuição lognormal foi observada, Cobre nos dois sistemas de manejo e Ferro no sistema convencional, a assimetria foi positiva, indicando maior frequência de valores menores que a média. Para áreas adubadas, como é o caso do sistema convencional, isto pode ser resultado da aplicação desuniforme de adubos, originando alguns sítios com teores mais altos destes atributos do solo.

Vários trabalhos têm comprovado que o comportamento das plantas acompanha a distribuição de nutrientes no solo (MILLER et al., 1988; BHATTI et al., 1991); logo, plantas colhidas, separadamente, devem refletir o comportamento observado na distribuição dos nutrientes no solo.

Dentro de cada sistema avaliado, os maiores valores médios foram observados para o atributo Ferro. Esses valores podem ser explicados provavelmente pela mineralogia do material de origem, que apresenta na sua constituição a Biotita $[K_2(Mg,Fe,Al)_6(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4]$, que em solos rasos libera esse elemento tornando-o disponível às plantas (DNPM/CPRM, 1979).

A amplitude dos dados, expressa pelos valores mínimo e máximo, é maior no sistema convencional apenas para os atributos Boro e Cobre, quando comparado com o sistema orgânico.

A amplitude dos dados revela problemas de interpretação das análises quando se assume uniformidade na área para a aplicação de adubações. Partindo deste princípio, haverá locais em que as recomendações de fertilizantes serão subdimensionadas, e em outros, excessivas, o que segundo ARAUJO (2002), resultará em prejuízos.

No entanto, a amplitude deve ser vista com muita reserva, já que essa medida leva em consideração apenas os dois valores extremos de um conjunto de dados, sendo, muitas vezes, afetada por um valor particularmente discrepante. Aparentemente, foi o que aconteceu com os atributos Ferro e Manganês nos dois sistemas de manejo da área em estudo.

Segundo os limites para coeficiente de variação (CV) proposto por WILDING & DREES (1983), o atributo Boro no sistema orgânico e convencional apresentou baixos valores de CV (<15%), enquanto os outros atributos analisados apresentaram altos valores de CV (CV>35%), chegando, em alguns casos, a atingir valor superior a 100% (Manganês no sistema convencional).

Resultados semelhantes foram observados por COUTO & KLAMT (1999) em áreas sob pivô central, SILVEIRA & CUNHA (2002) em diferentes sistemas de manejos e MARTINEZ et al. (2003) na cultura do café.

Alguns autores têm associado valores altos de coeficiente de variação a uma maior variabilidade dos atributos do solo, sendo necessário um maior número de amostras para representar o valor médio (OLIVEIRA et al. 1999; MARTINEZ et al. 2003 e SOUZA et al. 2004). Portanto, com a estimativa dos

valores da média, variância e coeficiente de variação, obtém-se em geral, maior confiabilidade dos dados, indicando através do coeficiente de variação, classes de variabilidade ou maior e menor homogeneidade dos atributos do solo.

Para avaliar o comportamento espacial dos atributos do solo, utilizaram-se os semivariogramas. A análise mostrou que, com exceção do Manganês, todos os atributos analisados apresentaram dependência espacial com alcances variando de 38 m a 53 m no sistema convencional e de 26 m a 242 m no sistema orgânico.

Para o Manganês no sistema convencional, há uma indicação clara de ser esse atributo independente espacialmente, apresentando, portanto, uma distribuição casual, ou o espaçamento de amostragem usado ser maior do que o necessário para revelar a dependência espacial.

O modelo teórico de semivariograma que melhor se ajustou para a maioria dos atributos em estudo foi o Gaussiano, principalmente no sistema convencional. Em estudos realizados por OLIVEIRA et al. (1999), ARAUJO (2002), CARVALHO et al. (2003), SOUZA et al. (2003) e SOUZA et al. (2004) verificaram que, para a maioria dos atributos de solo, o modelo de semivariograma melhor ajustado foi o esférico.

Nota-se que todos os semivariogramas para os atributos de solo com estrutura espacial, nos sistemas orgânico e convencional, apresentaram forte dependência espacial, demonstrando que os modelos de semivariogramas explicam a maior parte da variância dos dados.

O alcance de dependência espacial, com exceção do Boro, foi menor no sistema convencional, indicando maior descontinuidade espacial dos atributos de solo neste sistema. O manejo do solo, aplicações de fertilizantes e calcário podem ter contribuído para os menores alcances, concordando com estudos de SOUZA et al. (2003), CORÁ et al., (2004) e SOUZA et al. (2004).

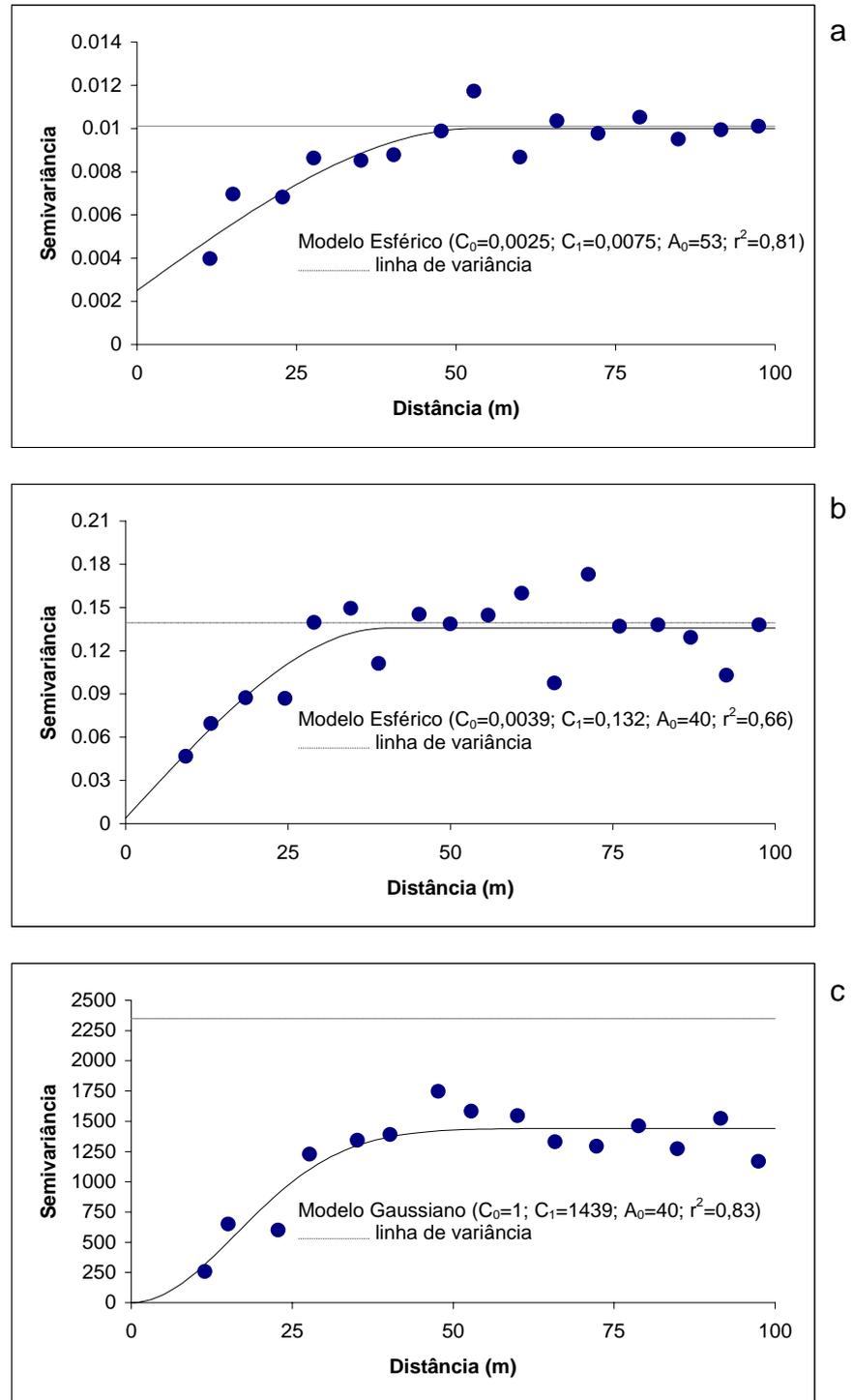


Figura 3. Semivariogramas para os atributos Boro (a), Cobre (b), Ferro (c) no sistema convencional.

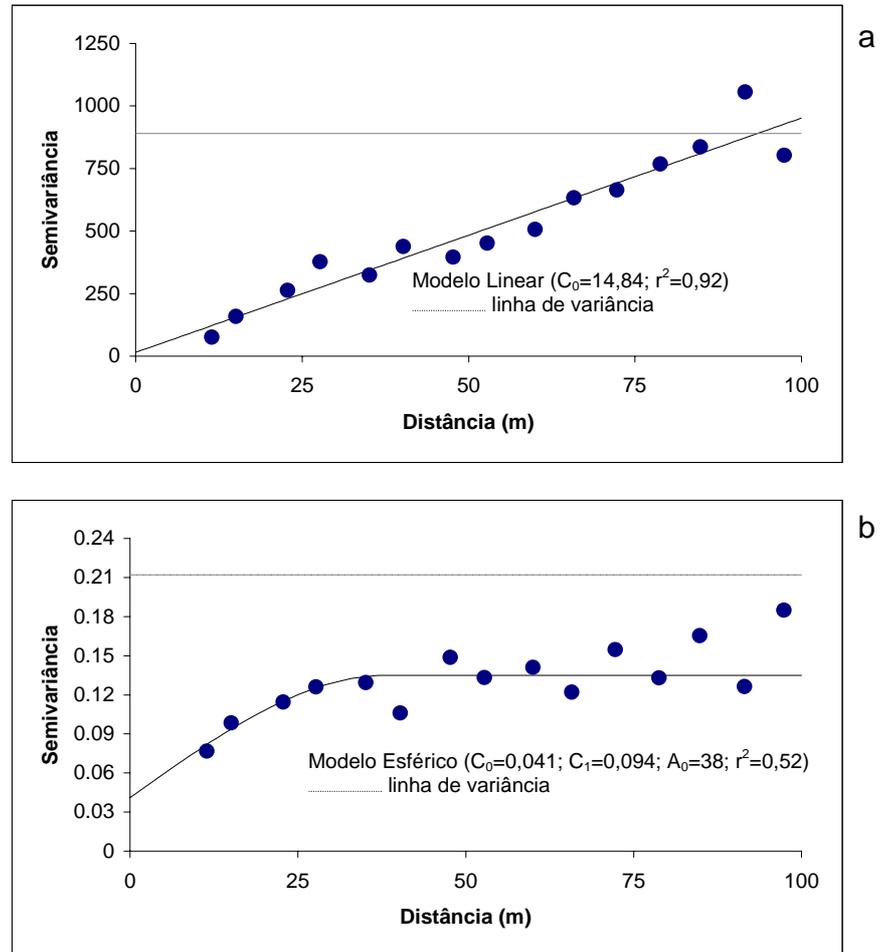


Figura 4. Semivariogramas para os atributos Manganês (a) e Zinco (b) no sistema convencional.

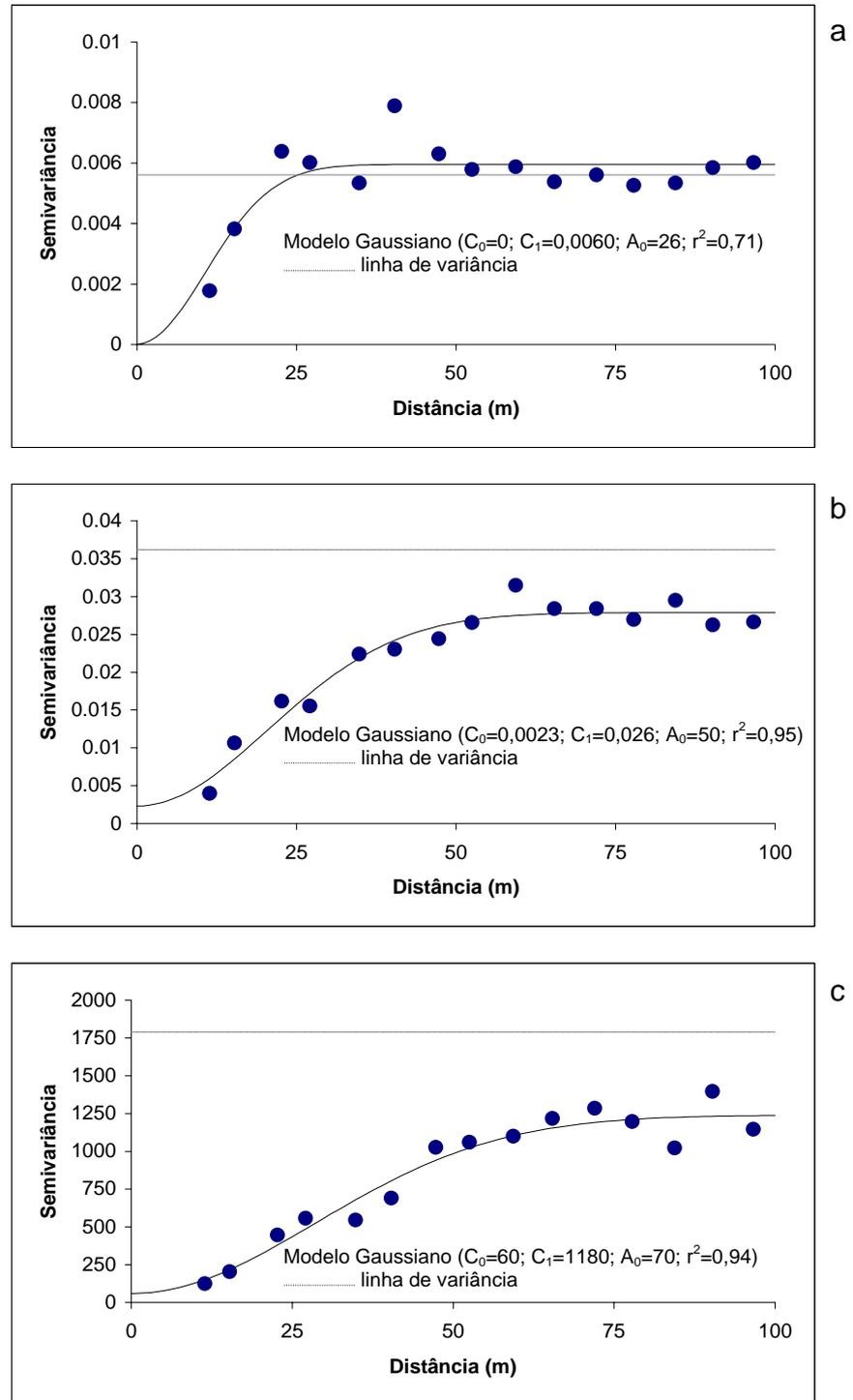


Figura 5. Semivariogramas para os atributos Boro (a), Cobre (b), Ferro (c) no sistema orgânico.

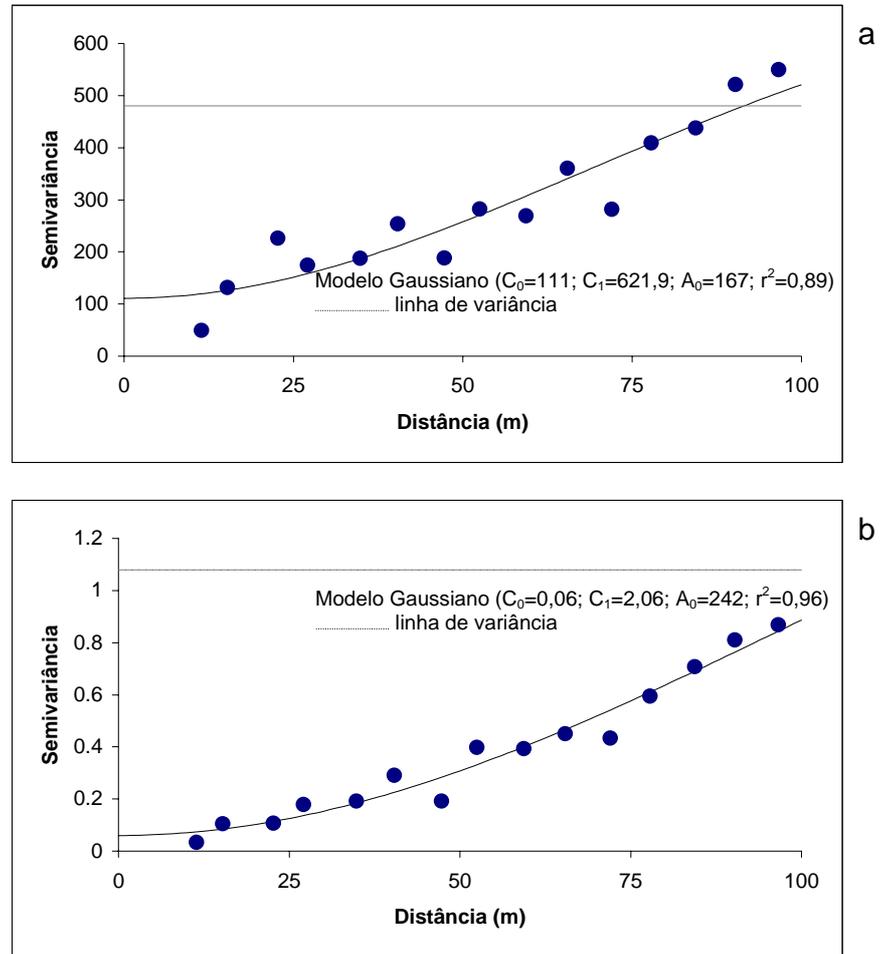


Figura 6. Semivariogramas para os atributos Manganês (a) e Zinco (b) no sistema orgânico.

A partir dos ajustes dos modelos de semivariogramas, realizou-se a interpolação por krigagem para os atributos de solo para a área amostrada, permitindo melhor visualização da distribuição espacial dos atributos do solo, possibilitando a identificação de locais que necessitam de tratamentos diferenciados (Figuras 7 e 8). Optou-se em não gerar mapas para o atributo Manganês, pois este não apresentou estrutura de dependência espacial no sistema convencional, dificultando comparação com o sistema orgânico.

Na Figura 7 nota-se que em aproximadamente 80% da área no sistema convencional os níveis de Boro foram classificados como baixo, enquanto no sistema orgânico esses níveis foram médios (CFSEMG, 1999). Os níveis de Cobre no sistema orgânico variaram de baixo a muito baixo, enquanto no sistema convencional esses limites foram de baixo a médio. Os maiores níveis de Boro e os menores de Cobre no sistema orgânico podem ser explicados pelos maiores níveis de matéria orgânica neste sistema (Figura 9, capítulo 2).

Segundo LOPES & CARVALHO (1988) e DANTAS (1991), a matéria orgânica é uma importante fonte de Boro para o solo, e que sob condições de seca, a decomposição dessa diminui, diminuindo também a liberação de Boro para a solução do solo. LOPES & CARVALHO (1988) afirmam ainda que o Cobre forma complexos estáveis com a matéria orgânica, e que somente pequenas quantidades desse elemento são disponíveis para a cultura.

Na Figura 8 são apresentados os mapas de isovalores para os níveis de Ferro e Zinco. Os níveis de Ferro foram classificados como bom e alto em aproximadamente 99% da área no sistema convencional e orgânico, sendo desnecessárias adubações corretivas para este elemento.

Para o atributo Zinco verificaram-se zonas de altos e baixos níveis, sendo possível a identificação de locais onde não há necessidade de correção para este atributo.

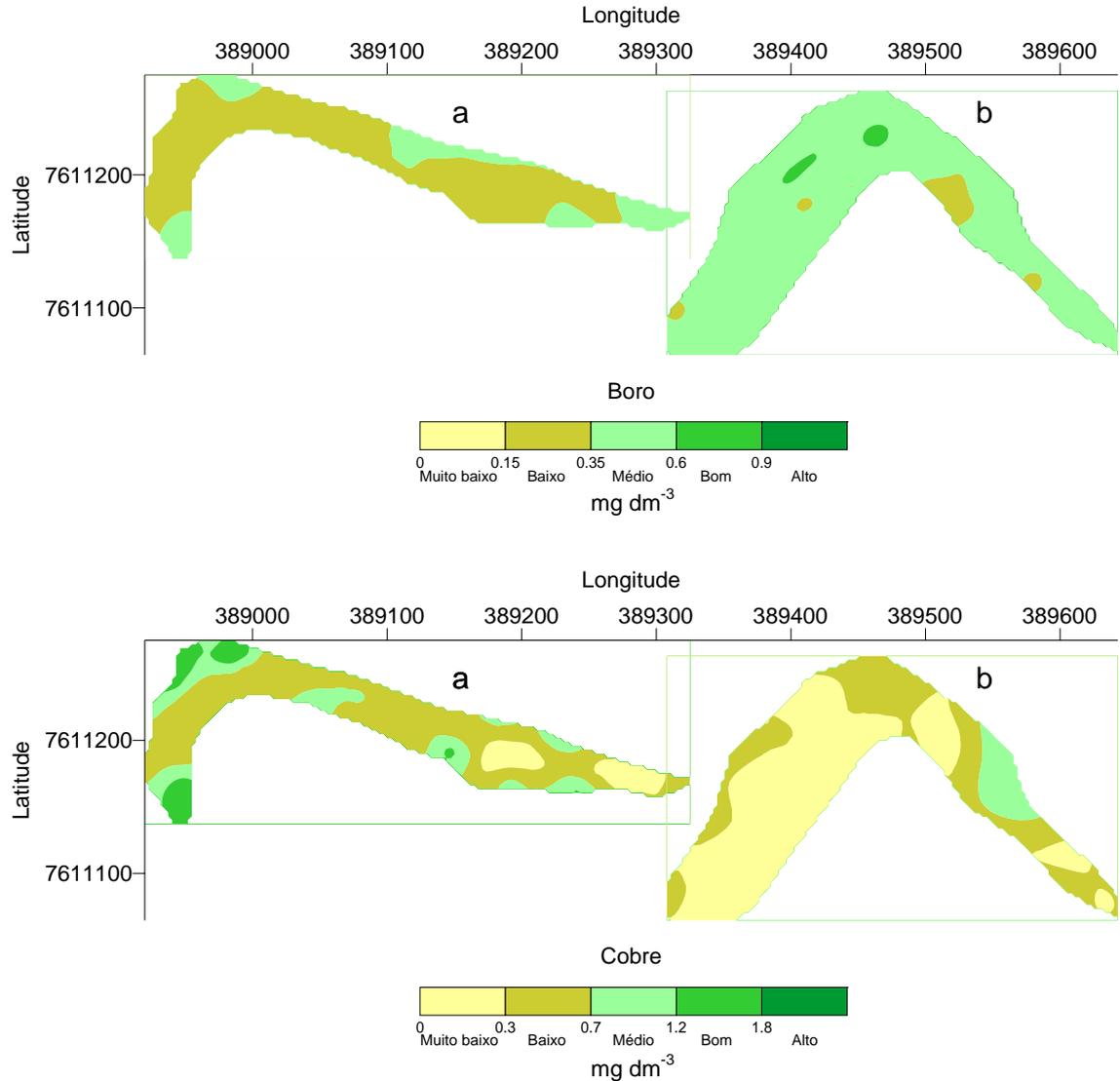


Figura 6. Mapas de isovalores para os atributos Boro e Cobre no sistema convencional (a) e orgânico (b).

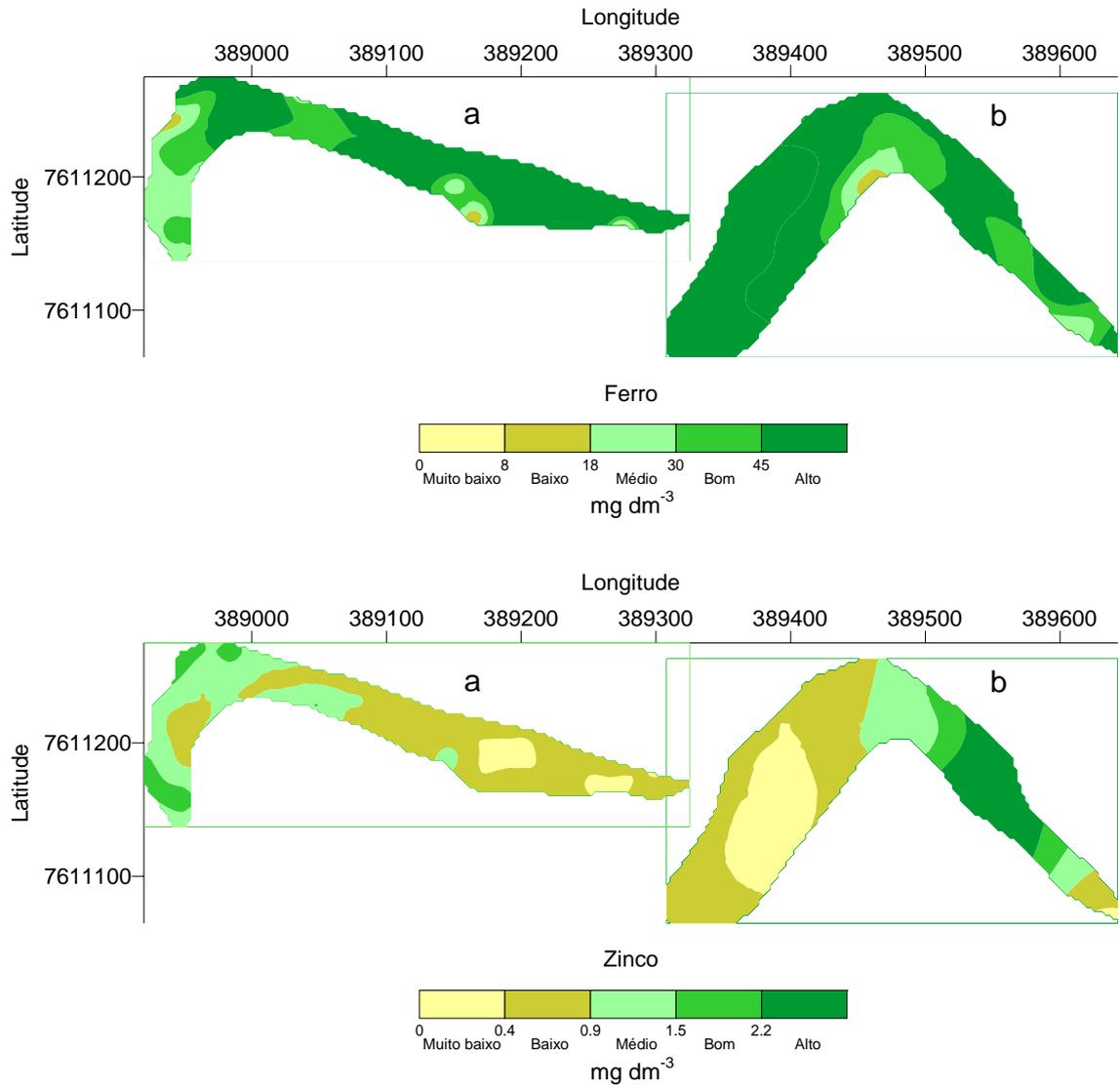


Figura 6. Mapas de isovalores para os atributos Ferro e Zinco no sistema convencional (a) e orgânico (b).

A partir das observações dos mapas de isovalores para os atributos do solo analisados é possível identificar locais específicos de manejo no sistema orgânico e convencional. Dessa forma, pode-se selecionar áreas dentro de cada sistema com potenciais diferenciados quanto aos níveis de micronutrientes.

3.4 Conclusões

1. Com exceção do Manganês, todos os atributos do solo estudado apresentaram dependência espacial.
2. A maior variabilidade espacial dos dados foi observada no sistema convencional.
3. Os mapas de isovalores auxiliaram na visualização da distribuição espacial para todos os atributos estudados.
4. A partir dos mapas de isovalores foi possível definir zonas homogêneas de manejo de altos e baixos níveis de fertilidade do solo.

3.5 Referências

ARAUJO, A. V. **Variabilidade espacial de propriedades químicas e granulométricas do solo na definição de zonas homogêneas de manejo.** 2002.80f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2002.

BATAGLIA, O. C.. Ferro. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da (eds.). **Micronutrientes na agricultura.** Potafos/CNPq, 1991. p.159-172.

BHATTI,A. U.; MULLA, D. J.; FRAZIER, B. E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. **Rem. Sens. Environ.**, 37:181-191, 1991.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 58:1501-1511, 1994.

CARVALHO, M. P.; TAKAEDA, 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.

CFESMG (Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** 1999. 359p.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; & BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:1013-1021, 2004.

COUTO, E. G.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do Estado de Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2321-2329, dez. 1999.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York, John Wiley, 1991. 900p.

DANTAS, J.P. Boro. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato/CNPq, 1991. p.113-130.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS - DNPM/CPRM. **Projeto Sapucaí**. São Paulo. DNPM/CPRM, 1979. n.5, 299p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

LINDSAY, N. L.; NORVELL, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Sci. Soc. Am J.** Madison, v.42, p.2321-2319, 1978.

LOPES, A. S.; CARVALHO, J. G. de. Micronutrientes: critérios de diagnose para solo e planta. In: SIMPÓSIO SOBRE ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1988, Londrina. **Anais...** Campinas, EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. p. 133-178.

MALAVOLTA, E. **Micronutrientes na adubação**. Paulínia, Nutriplant Indústria e Comércio, 1986. 70p.

MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; VENEGAS, V. H. A.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703-713, jun. 2003.

MILLER, M. P.; SINGER, M. J.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 52:1133-1141, 1988.

OLIVEIRA, J.J.; CHAVES, L. H. G.; QUEIROZ, J. E.; LUNA, J. G. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.23, n.4, p.783-789, 1999.

ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences**. Versão 7.0, Paninwell, Gamma Desing Software, 2004. 152p.

SAS Institute. **SAS/SAT user's guide: Version 6**. SAS Inst., Cary, 1995.

SFREDO, G. S.; BORKERT, C. M.; NEPOMUCENO, A. L.; OLIVEIRA, M. C. N. Eficiência de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre produtividade e teores de proteína da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.21, p.41-45, 1997.

SILVEIRA, P. M.; CUNHA, A. A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1325-1332, set. 2002.

SOUZA, C. K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um latossolo em Jaboticabal – SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n3, p.486-495, 2003.

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**, v.34, n.6, nov-dez, 2004.

SURFER for windows. **Realese 7.0. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers. User's Guide**. New York: Golden software, 1999. 619p.

WILDING, L.P. & DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P. & DREES, L.R., eds. **Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions**. New York, Elsevier, 1983. p.83-116.

CAPÍTULO 4 – IMPLICAÇÕES

Para que se tenha bom retorno financeiro com a cultura do café é necessário conhecer as limitações do solo e da planta que interferem na qualidade e produtividade das culturas. Essas limitações podem acarretar em baixas produtividades e qualidade de bebida, o que deprecia o produto e traz prejuízo econômico.

Minas Gerais, especialmente a região sul do Estado, caracteriza-se por possuir áreas com grandes declividades, nas quais estão implantadas a maioria das lavouras cafeeiras do Estado. Essas declividades, além de adicionarem variabilidade aos atributos do solo, impossibilitam o manejo racional e econômico das lavouras.

Porém, para se aplicar o manejo racional das lavouras cafeeiras no sul de Minas Gerais é necessário que se conheça a variabilidade dos atributos do solo que interferem na produtividade e qualidade das culturas. Contudo, poucos são os trabalhos que relatam essa variabilidade em lavouras cafeeiras de terrenos acidentados.

O sistema orgânico de produção de café surgiu como alternativa para minimizar os efeitos negativos do sistema convencional. Esses efeitos, além do uso excessivo de fertilizantes minerais durante a condução da lavoura e degradação do ambiente, são as principais fontes de adição de variabilidade nos atributos do solo e da planta.

Em ambos os sistemas de produção, a avaliação da variabilidade espacial dos atributos do solo e da planta não é levada em consideração, pois para a caracterização do solo e produtividade da cultura, essa avaliação é feita visualmente em talhões homogêneos.

Para o conhecimento detalhado das lavouras cafeeiras em regiões cujo relevo é acidentado, o uso de ferramenta que possibilita o mapeamento dos atributos do solo e produtividade das lavouras mostra-se eficiente na caracterização de áreas homogêneas.

Essa ferramenta possibilita a elaboração de mapas de distribuição espacial dos atributos do solo e produtividade do café, e auxilia na verificação da necessidade de implantação de um sistema de monitoramento desta distribuição.

Com este monitoramento é possível realizar o manejo racional da cultura, minimizando os impactos provocados pelas adições desnecessárias de fertilizantes. Portanto, a identificação de locais específicos com necessidades específicas otimizará o manejo, o qual possivelmente reduzirá o custo na lavoura, pois a variabilidade espacial da produtividade do café refletiu a dos atributos do solo. Essas informações sugerem que o conhecimento da variabilidade dos atributos do solo é necessário para o manejo da variabilidade da produtividade.

De posse dos mapas de variabilidade da produtividade do café, o produtor terá informações referentes a locais onde a lavoura está proporcionando maior retorno econômico. Essas informações possibilitarão que o manejo seja direcionado em locais onde a produtividade não atinge níveis econômicos satisfatórios.

... “Até aqui o Senhor nos ajudou”

I Samuel 7:12 (NVI)