

Variabilidade Espacial e Disponibilidade de Zinco em Solos de Vinhedos e Adjacências da Região Vitícola de Jundiá, SP

Gustavo Souza Valladares ¹
Otávio Antônio de Camargo ²
Emílio Carlos de Azevedo ³
Alessandra Maria Cia Silva ⁴

¹ Embrapa Monitoramento por Satélite
Av. Dr. Júlio Soares de Arruda 803, 13088-300, Parque São Quirino, Campinas, SP
gustavo@cnpm.embrapa.br

² Instituto Agronômico de Campinas e CNPq
ocamargo@iac.sp.gov.br

³ Universidade Federal de Mato Grosso/FAMEV
Av. Fernando Correa da Costa s/n, 78.060-900, Boa esperança, Cuiabá, MT
emilioaz@cpd.ufmt.br

⁴ PUC-Campinas e bolsista PIBIC/CNPq

Abstract. In this paper we evaluate spatial distribution of zinc concentration in soils by DTPA in areas cultivated with vineyard and adjacencies. Kriging techniques were efficient to study spatial distribution of zinc in soils. The results shows a spatial correlation between zinc concentration in soils and vineyards. This results reflects a possible contamination in soils by agrochemicals application.

Palavras-chave: geostatistics, soil fertility, vineyard, geoestatística, fertilidade do solo, vinhedo.

1. Introdução

A qualidade do solo é fundamental ao desenvolvimento sustentável e à preservação dos ecossistemas e da biodiversidade. Nesse contexto, a contaminação do solo por metais pesados põe em risco sua capacidade produtiva e o equilíbrio dos ecossistemas. O solo é o ambiente de interface entre a rocha, o ar e a água e conseqüentemente, está sujeito à contaminação por diferentes atividades antrópicas como, por exemplo, a agricultura, podendo ser fonte de poluição para os seres vivos, os sedimentos e os corpos d'água (Facchinelli et al., 2001).

Os solos naturalmente possuem metais pesados em concentrações variadas, dependendo do material de origem sobre o qual se formou, dos processos de formação e da composição e proporção dos componentes da sua fase sólida (Fadigas, 2002; Camargo et al., 2003). As atividades antrópicas podem afetar a concentração de metais pesados no solo. A água de irrigação, a aplicação de fertilizantes e o uso de agrotóxicos podem contribuir para a contaminação dos solos com metais pesados, assim como esgotos e dejetos de origem industrial e residencial (Facchinelli, Et Al., 2001; Costa, 2002; Nicholson et al., 2003). O tipo de solo, o relevo, a geologia e os processos erosivos influenciam a concentração e distribuição dos metais pesados no ambiente, influenciando inclusive na sua biodisponibilidade (Ramalho et al., 2000; Costa, 2002).

Com o tempo, o uso agrícola pode levar à contaminação do solo por metais pesados, de modo específico o cobre nas áreas sob vinhedo (Deluisa et al., 1996; Giovannini, 1997; Brun et al., 1998; Facchinelli et al., 2001; Parat et al., 2002; Alleoni et al., 2003; Chaignon & Hinsinger; 2003; Chaignon et al., 2003). O uso de insumos e agroquímicos que além do cobre possuem o zinco em sua composição, pode levar à contaminação do solo pelos dois elementos (Paoletti et al, 1998; Ramos & López-Acevedo, 2004; Gaw et al., 2006; Ramos, 2006).

Os efeitos dessa contaminação refletem-se na própria agricultura, incluindo fitotoxicidade por altas concentrações, na manutenção dos processos microbiológicos e na transferência de elementos em níveis tóxicos ao homem e aos animais (Nicholson et al., 2003).

Com a crescente demanda pelo armazenamento, análise, manipulação e visualização de dados sobre os recursos naturais, aliada à evolução dos computadores digitais a partir da década de sessenta, diversos aplicativos foram desenvolvidos visando a facilitar as tarefas manuais, antes complicadas e lentas, mas sobretudo para abrir possibilidades de integração entre dados espaciais e numéricos (Burrough, 1986; Miranda et al. 1995). Neste contexto, a fim de permitir a perfeita integração de dados derivados de sensores remotos, de levantamentos dos recursos naturais e da evolução cartográfica, foram desenvolvidos os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), impulsionando a área do Geoprocessamento e influenciando as áreas da Cartografia, Planejamento Urbano e Regional, Transporte, Recursos Naturais, entre outras (Burrough, 1985; Câmara; Medeiros, 1996).

Os SIGs são conjuntos manuais ou computacionais de procedimentos (Aranoff, 1989) desenvolvidos para trabalhar com dados referenciados por coordenadas geográficas ou espaciais (Star; Estes, 1990). Ou, segundo Cowen (1988 apud INPE, 1996), consistem em sistemas de suporte à decisão, integrando dados referenciados espacialmente em um ambiente de respostas a problemas e que podem ser trabalhados com ferramentas da geoestatística (Vieira, 1997).

A intensificação destas técnicas na ciência do solo deveu-se ao fato de assumir-se que a distribuição espacial de pontos de observação apresente correlação, ou seja, que exista dependência espacial. Esta pressuposição não é assumida na estatística clássica, a qual assume que os pontos de observação são independentes, o que, na maioria dos casos, não acontece nos estudos envolvendo as ciências da terra (Webster, 1985; Srivastava, 1996). Assim, segundo Couto & Klamt (1999), em estudos de solos é comum presumir que determinadas propriedades do solo possam ser representadas pela média e variância, a partir de um número suficientemente grande de amostras. Esta pressuposição, conforme Trangmar et al. (1985), baseia-se na hipótese de que a variabilidade de determinada área associada à sua média é aleatória e não apresenta dependência espacial entre amostras dentro de uma mesma mancha de solo, considerada homogênea.

Desta forma, Srivastava (1996) comenta que a estatística clássica (não espacial) somente serve para analisar a distribuição estatística dos dados coletados; já a geoestatística incorpora, além da análise da distribuição estatística dos dados coletados, também as relações espaciais entre estes, na forma de correlação entre os pontos amostrados. Por essas diferenças, os problemas da ciência da terra são efetivamente analisados atualmente por técnicas da geoestatística, quando a interpretação da distribuição espacial dos dados tem forte impacto sobre os resultados e sobre a tomada de decisão.

Na região de Piemont, Itália, o uso de geoestatística e SIG associados a análises estatísticas multivariadas foram eficientes nas determinações das relações entre os metais pesados e variáveis como a geologia e o uso e cobertura das terras, observando que os teores de cobre e zinco nas áreas sob vinhedos geravam fortes anomalias positivas (Facchinelli et al., 2001). Carvalho et al. (2003) observaram dependência espacial de atributos físicos e químicos em solo sob vinhedos no Estado de São Paulo.

O objetivo deste trabalho foi determinar os teores de zinco disponível no solo extraído com DTPA e avaliar sua distribuição espacial empregando a geoestatística em áreas de vinhedos comerciais e experimentais e sob outros usos e coberturas nas adjacências das plantações.

2. Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em uma área experimental do Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio das Frutas do Instituto Agronômico de Campinas e uma área comercial adjacente no Município de Jundiaí, SP, fazendo parte de duas microbacias hidrográficas, com aproximadamente 50 ha que apresentam variado uso do solo como, videiras recentes e outras com mais de três décadas de idade, presença de vegetação nativa, plantios florestais e pastagem nas adjacências dos vinhedos (Figura 1). A área de estudo localiza-se entre 680 e 760m de altitude, em área com relevo de encostas, classificado como ondulado e forte ondulado, com geologia de xistos e com predominância de Cambissolo Háplico Tb Distrófico, Latossolo Amarelo Distrófico, Argissolo Amarelo Distrófico e Gleissolo Háplico Distrófico.

Foram coletadas amostras de solo em 27 pontos sob vinhedos, em duas profundidades (0-15cm e 15-30cm), e 73 amostras em solos com outros usos nas mesmas profundidades, totalizando 200 amostras. Os teores de zinco foram determinados seguindo metodologia de Raij et al. (2001) pelo método do DTPA.

Os dados foram analisados por estatística descritiva para exploração inicial dos dados.

Para verificar a dependência espacial das variáveis, interpolar dados e construir mapas, foi empregada a análise geoestatística, segundo (Vieira, 2000). Foram construídos semivariogramas, partindo das pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca e do cálculo da semivariância $\gamma(h)$ estimada pela equação 1:

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

em que $N(h)$ é o número de pares dos valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados por um vetor h . É esperado, segundo Vieira (2000), que medições localizadas próximas sejam mais parecidas entre si do que aquelas separadas por grandes distâncias, isto é, que aumente $\gamma(h)$ com a distância h até um valor máximo, no qual se estabiliza em um patamar correspondente à distância limite de dependência espacial, que é o alcance. Medições localizadas a distâncias maiores que o alcance terão distribuição aleatória, razão por que serão independentes entre si.

Os semivariogramas que apresentaram dependência espacial foram ajustados com o modelo matemático de melhor correspondência. Os programas computacionais e procedimentos para construção e ajuste do modelo do semivariograma obedeceram às instruções de Vieira et al. (2002).

Foi calculada a razão de dependência espacial (GD), que é a proporção em percentagem do “partial sill” (C_1) em relação ao patamar (C_0+C_1) (equação 2). Sendo segundo Zimback (2001) dependência fraca <25%, dependência moderada de 26 a 75 e dependência forte > 75%.

$$GD = \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Uma vez que o semivariograma representa a variabilidade espacial dos dados, a análise geoestatística permitiu, primeiramente, a análise dos dados, comparando-se os parâmetros de ajuste dos semivariogramas para cada uma das variáveis estudadas.

Havendo dependência espacial demonstrada pelo semivariograma, haverá a possibilidade de estimar valores para qualquer outro local sem medida, usando-se a krigagem, que segundo Vieira et al. (2002), estima os valores com as condições de estimativa sem tendenciosidade e

com desvios mínimos em relação aos valores conhecidos, ou seja, com variância mínima (Equação 3):

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j \gamma(X_i, X_j) + \mu = \gamma(X_i, X_0), i = 1, N \sum_{j=1}^N \lambda_j = 1 \quad (3)$$

onde $\gamma(X_i, X_j)$ é a semivariância estimada, usando o modelo ajustado ao semivariograma, correspondente à distância entre os pontos localizados na posição x_i e x_j e $\gamma(x_i, x_0)$ é a semivariância correspondente à distância entre os pontos localizados na posição x_i e x_0 . Valores de peso λ e um valor do multiplicador de Lagrange, m , associado com a minimização da variância, são gerados e com os valores de λ_i podem-se estimar valores (Z) no espaço amostrado para qualquer posição x_0 . Com os valores estimados (equação 4), foram construídos mapas de isolinhas, em função da coordenada geográfica. O uso da krigagem como interpolador permite mostrar a variabilidade espacial de determinada área, pois a partir dela é possível a construção de mapas de isolinhas.

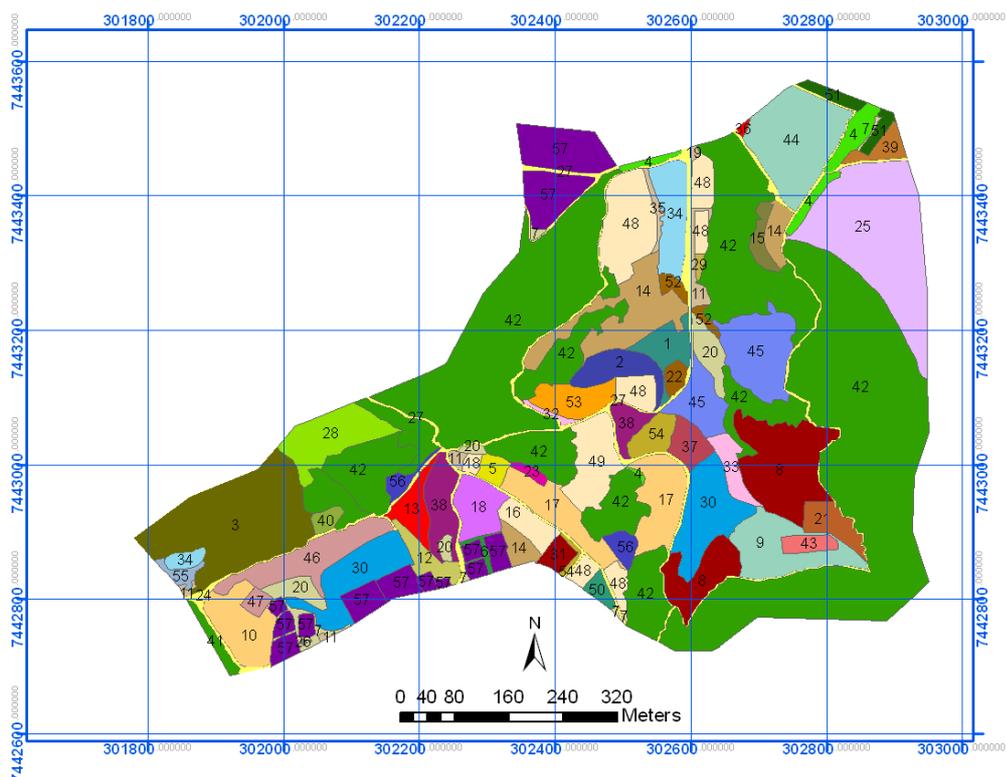
$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (4)$$

3. Resultados e Discussão

Considerando a totalidade das amostras na camada de 0-15cm os teores de zinco variaram de 0,6 a 41,6mg dm⁻³, com média de 7,4mg dm⁻³; e na camada de 15-30cm os teores variaram de 0,3 a 261,7 mg dm⁻³, com média de 7,6 mg dm⁻³.

Para analisar a variabilidade espacial, utilizou-se a geoestatística, por meio da análise de semivariogramas, interpolação dos dados por krigagem e construção de mapas de isolinhas. Apesar das grandes distâncias entre as amostras a dependência espacial foi classificada pela razão de dependência espacial (GD) como moderada (quadro 2). Para os solos estudados o modelo esférico teve bom ajuste.

Houve semelhança no comportamento espacial dos teores de zinco nas duas profundidades (figura 2 a e b), indicando que o aumento da concentração desse elemento está ocorrendo nas duas camadas. Os teores de zinco mais elevados coincidem com as áreas sob vinhedos (figura 1). Desta forma, uma possível contaminação poderá estar ocorrendo nestas áreas, considerando-se as profundidades estudadas.



LEGENDA

| | | | | | |
|----|-------------------------------|----|-----------------------------|----|------------------------------|
| 1 | ameixa abandonada | 20 | capoeira rala | 39 | mata mista |
| 2 | anonácias | 21 | caqui | 40 | mata mista c/ eucalipto |
| 3 | araucária | 22 | castanha portuguesa | 41 | maçã e marmelo |
| 4 | bambuzal | 23 | cerejeira | 42 | mt.nativa |
| 5 | cajú | 24 | cruzamento | 43 | nêspera |
| 6 | caminho entre vinhedos | 25 | cultura anual | 44 | palmeira (pupunha) |
| 7 | campo | 26 | edificação | 45 | pecã |
| 8 | campo c/ caqui | 27 | estrada | 46 | pinheiro |
| 9 | campo c/ fruteiras | 28 | eucalipto | 47 | pêra |
| 10 | campo c/ gramíneas e citrus | 29 | figo | 48 | pêra abandonada |
| 11 | campo limpo | 30 | fruteiras e capoeira | 49 | pêssego |
| 12 | campo limpo c/ gramínea | 31 | fruteira abandonada (caqui) | 50 | pêssego abandonado |
| 13 | campo limpo e maçã abandonada | 32 | goiaba | 51 | pêssego c/ umê |
| 14 | campo sujo | 33 | goiaba espontânea | 52 | taboa |
| 15 | campo sujo (leguminosa) | 34 | lago | 53 | tangerina |
| 16 | campo sujo c/ pêra | 35 | lateral do açude | 54 | umê |
| 17 | campo sujo c/ pêsego | 36 | macadâmia | 55 | vegetação mista |
| 18 | campo sujo com araçá | 37 | macã | 56 | vegetação mista de fruteiras |
| 19 | campo sujo/ capoeira rala | 38 | mamona | 57 | vinhedo |

Figura 1. Uso e cobertura das terras com base em imagens IKONOSII da área de estudo no CAPTA-Frutas.

Quadro 1. Parâmetros estatísticos dos teores de zinco no solo em (mg dm^{-3}) em duas profundidades de coleta.

| Profundidade | Média | Mínimo | Máximo | Desvio-padrão |
|--------------|-------|--------|--------|---------------|
| 0-15 cm | 7,4 | 0,6 | 41,6 | 6,2 |
| 15-30 cm | 7,6 | 0,3 | 261,7 | 26,8 |

Quadro2. Parâmetros do modelo esférico ajustado aos semivariogramas: efeito pepita (C_0), patamar (C_1+C_0), alcance (a) e variabilidade com dependência espacial (GD).

| Profundidade | C_0 | C_1+C_0 | a (m) | GD (%) |
|--------------|-------|-----------|-------|--------|
| 0-15 cm | 9,43 | 21,47 | 856 | 56 |
| 15-30 cm | 10,26 | 28,48 | 478 | 64 |

4. Conclusões

A krigagem foi adequada para avaliar a distribuição espacial dos teores de zinco havendo correlação espacial entre os teores do elemento no solo com as áreas cultivadas com vinhedos. Os dados indicaram uma possível contaminação do solo pelo elemento.

Agradecimentos

Aos pesquisadores José Luiz Hernandez, Jener Fernando e Pedro Mário Jr pelas colaborações na realização deste trabalho.

Financiamento

FAPESP 04/03847-5.

Referências

- ALLEONI, L.R.F.; NACHTIGALL, G.R.; CAMBRI, M.A.; NOGUEIROL, R.C.; LOPES, C.M. 2003. Disponibilidade de cobre em solos de vinhedos após aplicação de calda bordaleza por vários anos. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29: CD-ROM. (Abstr.).
- BRUN, L.A.; MAILLET, J.; RICHARTE, J.; HERRMANN, P.; REMY, J.C. 1998. Relationships between extractable copper, soil properties and copper uptake by wild plants in vineyard soils. *Environ Pollution* 102: 151-161.
- BURROUG, P.A. 1986. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford University Press Inc, New York.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS J.S. 1996. Geoprocessamento para projetos ambientais. INPE, São José dos Campos (CD-ROM).
- CAMARGO, O.A.; BORBA, R.P.; ALLEONI, L.R.F. 2003. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29: CD-ROM. (Abstr.).
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1501-1511.
- CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y.; FREDDI, O.S. 2003. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27: 695-703.
- CHAIGNON, V.; HINSINGER, P. A 2003. Biotest for Evaluating Copper Bioavailability to Plants in a Contaminated Soil. *Environ Qual* 32: 824-33.
- CHAIGNON, V.; SANCHEZ-NEIRA, I.; HERMANN, P.; JAILLARD, B.; HINSINGER, P. 2003. Copper bioavailability and extractability as related to chemical properties of contaminated soils from a vine-growing area. *Environ Pollution* 123: 229-238.
- COSTA, M.C.R. 2002. Avaliação da contaminação ambiental por metais pesados em áreas rurais próximas a uma indústria de reciclagem de chumbo no vale do rio Paraíba do Sul – SP 2002. D Sc Tese. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

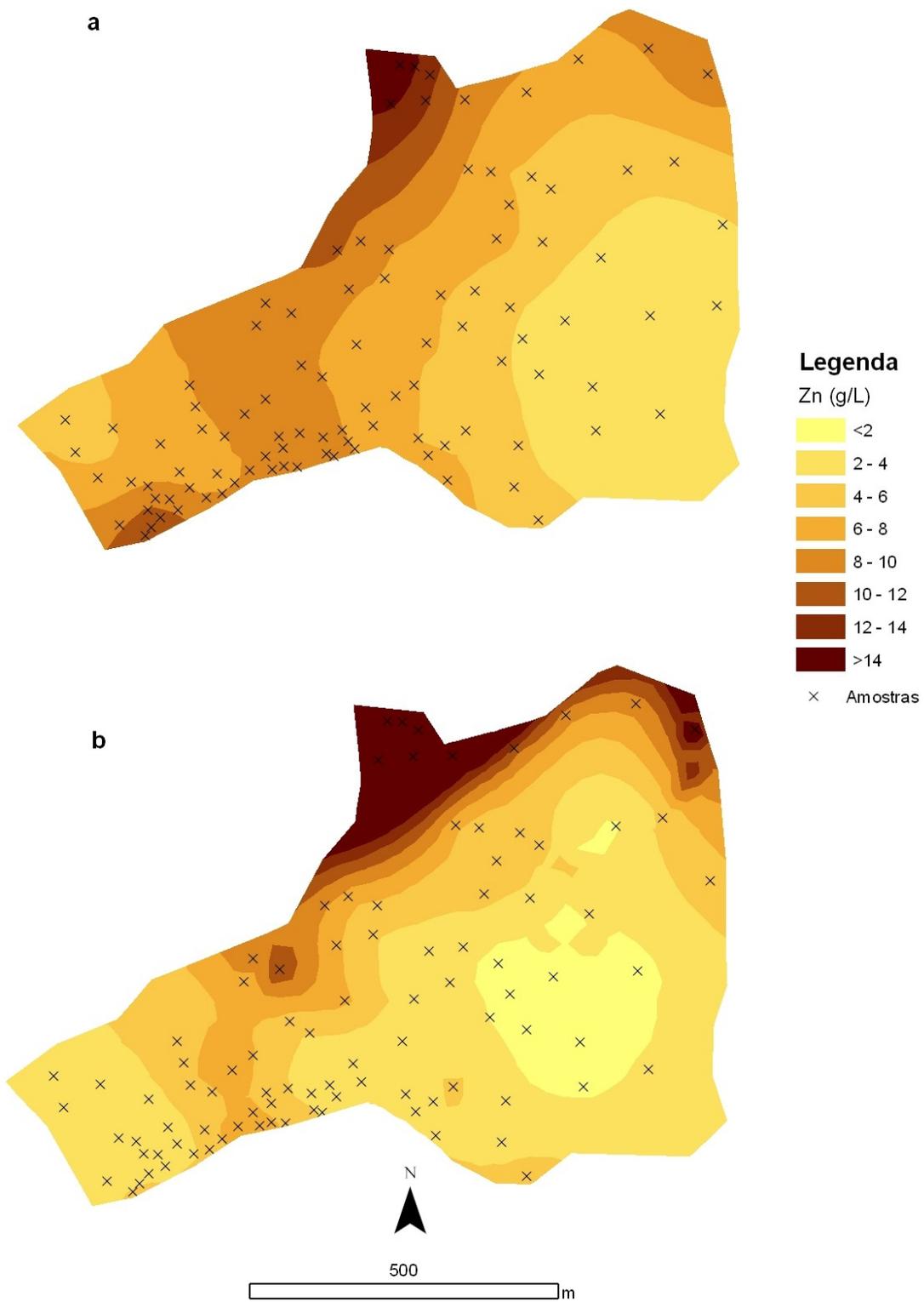


Figura 2. Distribuição espacial dos teores de zinco nos solos estimados por krigagem. (a) 0-15cm, (b) 15-30cm.

- COUTO, E. G.; KLAMT, E. 1999. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do Estado de Mato Grosso. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2321-2329.
- DELUISA, A.; GIANDON, P.; AICHNER, M.; BOTLAMI, P.; BRUNA, L.; LUPETTI, A.; NARDELLI, F.; STRINGARI, G. 1996. Copper pollution in Italian vineyard soils. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, New York 27: 1537-1548.
- FACCHINELLI, A.; SACCHI, E.; MALLEEN, L. 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environmental Pollution* 114: 313-324.
- FADIGAS, F. S. 2002. Estimativas das concentrações naturais (pseudo-total) de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em solos brasileiros e proposição de valores de referência utilizando técnicas da estatística multivariada. D Sc Tese. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- GAW, S.K.; WILKINS, A.L.; KIM, N.D.; PALMER, G.T.; ROBINSON, P. 2006. Trace element and DDT concentrations in horticultural soils from the Tasman, Waikato and Auckland regions of New Zealand. *Science of the Total Environment* 355: 31-47.
- GIOVANNINI, E. 1997. Toxidez por cobre em vinhedos. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha* 3: 115-117.
- MIRANDA, E.E. DE; DORADO, A.J.; GUIMARÃES, M.; MANGABEIRA, J.A.; MIRANDA, J.R. 1995. Impacto ambiental y sostenibilidad agrícola: la contribución de los Sistemas de Informaciones Geográficas. RIMISP, Santiago de Chile.
- NICHOLSON, F.A.; SMITH, S.R.; ALLWAY, B.J.; CARLTON-SMITH, C.; CHAMBERS, B.J. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *The Science of the Total Environment* 311: 205-219.
- PAOLETTI, M.G.; SOMMAGIO, D.; FAVRETTO, M.R.; PETRUZZELLI, G.; PEZZAROSSA, B.; BARBAFIERI, M. 1998. Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and viyards with different inputs. *Applied Soil Ecology* 10: 137-150.
- PARAT, C.; CHAUSSOD, R.; LÉVÊQUE, J.; DOUSSET, S.; ANDREUX, F. 2002. The relationship between copper accumulated in vineyard calcareous soils and soil organic matter and iron. *European Journal of Soil Science* 53: 663-669.
- RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. 1997. Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas Instituto Agrônômico/Fundação IAC 100. 285p.
- RAMALHO, J.F.G.P.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X. 2000. Contaminação da microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35: 1289-1303.
- RAMOS, M.C. 2006. Metals in vineyard soils of the Penedès area (NE Spain) after compost application. *Journal of Environmental Management* 78: 209-215.
- RAMOS, M.C.; LÓPEZ-ACEVEDO, M. 2004. Zinc levels in vineyard soils from the Alt Penedès-Anoia region (NE Spain) after compost application. *Advances in Environmental Research* 8: 687-696.
- SRIVASTAVA, R. M. 1996. Describing spatial variability using geostatistics analysis. In: SRIVASTAVA, R. M.; ROUHANI, S.; CROMER, M. V.; et al. (eds) *Geostatistics for environmental and geotechnical applications*. p.13-19. American Society for Testing and Materials.
- STAR, J.; ESTES, J. 1990. *Geographic information systems: an introduction*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. 1985. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy* 38:45-94.
- VIEIRA, S.R. 2000. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R.(eds) *Tópicos em ciência do solo*, 1. p.1-53. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa.
- VIEIRA, S.R. 1997. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). *Bragantia* 56: 181-190.
- VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C. & REYNOLDS, W.D. 2002. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V.; V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. *Tópicos em ciência do solo*. 2: 1-45. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa.
- WEBSTER, R. 1985. Quantitative spatial analysis of soil in the field. In: STEWART, B.A. (ed). *Advance in Soil Science* 3: 1-70.