

## Aplicação da geoestatística na análise da fertilidade do solo em propriedade familiar do Circuito das Frutas do Estado de São Paulo



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Informática Agropecuária  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO  
44**

**Aplicação da geoestatística na análise da  
fertilidade do solo em propriedade familiar do  
Circuito das Frutas do Estado de São Paulo**

*Célia Regina Grego  
Fernando Antonio de Padua Paim  
Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues  
Cristina Criscuolo  
Edlene Aparecida Monteiro Garçon  
Rodolfo Correa Manjolin  
Ivan André Alvarez  
Teresinha Costa Silveira de Albuquerque*

**Embrapa Informática Agropecuária  
Campinas, SP  
2018**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Informática Agropecuária**

Av. André Tosello, nº 209 Campus da Unicamp,  
Barão Geraldo - Campinas - SP  
CEP: 13083-886  
Fone: (19) 3211-5700  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações  
da Unidade Responsável

Presidente  
*Stanley R. de M. Oliveira*

Secretária-Executiva  
*Carla Cristiane Osawa*

Membros  
*Adriana Farah Gonzalez, Carla Geovana do Nascimento Macário, Flávia Bussaglia Fiorini, Jayme Barbedo, Kleber X. Sampaio de Souza, Luiz Antonio Falaguasta Barbosa, Maria Goretti G. Praxedes, Paula Regina K. Falcão, Ricardo Augusto Dante, Sônia Ternes*

Suplentes  
*Michel Yamagishi e Goran Nesic*

Supervisão editorial  
*Kleber X. Sampaio de Souza*

Revisão de texto  
*Adriana Farah Gonzalez*

Normalização bibliográfica  
*Maria Goretti G. Praxedes*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Talissa Lizandra Atique, sob supervisão de Flávia Bussaglia Fiorini*

Foto da capa  
*Cristina Criscuolo*

**1ª edição**  
Versão digital (2018)

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Informática Agropecuária

---

Aplicação da geoestatística na análise da fertilidade do solo em propriedade familiar do Circuito das Frutas do Estado de São Paulo /Célia Regina Grego... [et al.]. - Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2018.

17 p. : il. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Informática Agropecuária, ISSN 1677-9266; 44).

1. Geoestatística. 2. Variabilidade espacial. 3. Krigagem ordinária. 4. Fruticultura I. Grego, Célia Regina. II. Embrapa Informática Agropecuária. III. Título. IV. Série.

CDD 526.015195

## Sumário

---

Resumo .....	5
Abstract .....	7
Introdução.....	8
Material e Métodos .....	9
Resultados e Discussão .....	12
Conclusões.....	16
Referências .....	17



# Aplicação da geoestatística na análise da fertilidade do solo em propriedade familiar do Circuito das Frutas do Estado de São Paulo

Célia Regina Grego<sup>1</sup>

Fernando Antonio de Padua Paim<sup>2</sup>

Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues<sup>3</sup>

Cristina Criscuolo<sup>4</sup>

Edene Aparecida Monteiro Garçon<sup>5</sup>

Rodolfo Correa Manjolin<sup>6</sup>

Ivan André Alvarez<sup>7</sup>

Teresinha Costa Silveira de Albuquerque<sup>8</sup>

**Resumo** – O uso da geoestatística pode auxiliar na recomendação do aporte de nutrientes no solo com maior precisão, considerando a variabilidade espacial dos atributos do solo. O objetivo do trabalho foi a aplicação da geoestatística no mapeamento da fertilidade do solo de seis propriedades familiares localizadas no Circuito das Frutas do Estado de São Paulo, mais precisamente nos municípios de Itatiba, Atibaia, Jundiaí, Valinhos, Indaiatuba e Jarinú, produtores de pêssego, uva, goiaba, morango. A grade amostral georreferenciada foi de 20 a 40 pontos dentro de cada talhão com a cultura frutífera predominante da propriedade familiar e as amostras georreferenciadas de solo foram coletadas a 0 – 20 cm e 20 – 40 cm de profundidade nos anos de 2016 e 2017. Os atributos indicadores da fertilidade do solo foram analisados pela

---

<sup>1</sup> Engenheira agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas.

<sup>2</sup> Graduação em Engenharia Mecânica e em Tecnologia em Processamento de Dados, especialista em Análise de Sistemas, analista da Embrapa Territorial, Campinas, SP.

<sup>3</sup> Zootecnista, doutora em Biologia Vegetal, pesquisadora da Territorial, Campinas, SP.

<sup>4</sup> Geógrafa, mestre em Ciências da Engenharia Ambiental, pesquisadora da Embrapa Territorial, Campinas, SP.

<sup>5</sup> Geógrafa, analista da Embrapa Territorial, Campinas, SP.

<sup>6</sup> Estudante de Engenharia Agrícola, estagiário da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

<sup>7</sup> Engenheiro agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Territorial, Campinas, SP.

<sup>8</sup> Engenheira agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Roraima, Boa Vista, RR.

geoestatística para verificar a existência de variabilidade espacial e a construção de mapas de contorno com interpolador krigagem ordinária. Houve dependência espacial para os atributos do solo nas áreas frutíferas amostradas acima de 30 pontos (pêssego em Atibaia, uva em Jundiá, Morango em Jarinu, goiaba em Valinhos e uva em Indaiatuba). Houve variação espacial dentro do talhão na maioria das áreas para altos níveis de potássio, fósforo, cálcio, magnésio e necessidade de calagem variando de 1 até 4 t ha<sup>-1</sup>. A geoestatística se mostrou uma ferramenta útil para indicar onde o atributo relacionado à fertilidade está em excesso no solo, para que o produtor do Circuito das Frutas possa tomar decisões mais racionais de manejo e uso de insumos, no intuito de aumentar a produtividade, reduzir custo de produção e proteger o meio ambiente.

**Termos para indexação:** Variabilidade espacial, krigagem ordinária, culturas frutíferas.

## Aplicação da geoestatística na análise da fertilidade do solo em propriedade familiar do Circuito das Frutas do Estado de São Paulo

**Abstract** – The use of geostatistical analysis can help recommending nutrient input in the soil with better precision, considering the spatial variability of soil attributes. This work purpose was to applicate geostatistics in the soil fertility mapping of six small farms located at a fruit production region in São Paulo State, denominated “Fruit Circuit”. Samples were got in peach, grape, guava and strawberry plantation localated in five counties: Atibaia, Indaiatuba, Itatiba, Jarinu and Jundiai. The georeferenced sampling grid included 20 to 40 points in each plot of the predominant fruit culture. The georeferenced soil samples were collected, in the depths of 0 - 20 cm and 20 - 40 cm, in the years 2016 and 2017. The soil fertility attributes were analyzed by geostatistics to verify the existence of spatial variability and the construction of contour maps was done with ordinary kriging interpolator. There was spatial dependence for soil attributes in the fruiticulture areas sampled above 30 points (peach in Atibaia, grape in Jundiai, Strawberry in Jarinu, guava in Valinhos and grape in Indaiatuba). There was spatial variation, within the plot, in most of the sampled areas, indicating high levels of potassium, phosphorus, calcium, magnesium and liming requirements ranging from 1 to 4 t ha<sup>-1</sup>. Therefore, geostatistics has proved to be a useful tool to indicate where the attribute related to soil fertility is in excess in the soil so that the fruit producer can make rational management decisions of inputs uses, in order to increase productivity, reduce production costs and protect the environment.

**Index terms:** Spatial variability, ordinary kriging, fruit crops.

## Introdução

---

A geoestatística é uma ferramenta utilizada para análise de dados que leva em consideração a variabilidade espacial na avaliação dos fenômenos da natureza, quer sejam causados por processos naturais ou por ações antrópicas. Sua aplicação é bem conhecida e estudada para dados relacionados ao solo (Srivastava, 1996; Goovaerts, 1997; Vieira, 2000; Grego; Vieira, 2005, Vieira et al, 2014), no intuito de entender os efeitos das variações do solo na planta e buscar o uso racional de adubos e corretivos para melhor retorno produtivo e econômico.

Nesse contexto, com uso da análise geoestatística é possível realizar a recomendação do aporte de nutrientes no solo com maior precisão, visto que os mapas de variabilidade espacial dos atributos do solo fornecem informações importantes para o estabelecimento de práticas de manejo adequadas do solo e dos cultivos, pois o comportamento das plantas tende a acompanhar a distribuição espacial e a variação de nutrientes no solo (Miller et al., 1988). O uso dessa técnica, portanto, tem grande potencial para diagnóstico espacial da fertilidade do solo das propriedades familiares do Circuito das Frutas do Estado de São Paulo. O Circuito das Frutas possui uma associação formada por pequenos produtores rurais de frutas localizados em dez municípios paulistas, com o intuito de promover o desenvolvimento rural regional, a agregação de valor aos produtos e a diversificação da renda familiar por meio do turismo rural, com visitas às propriedades e plantações, à degustação direta das frutas e comercialização de produtos derivados (Associação do Circuito das Frutas, 2016).

Os 10 municípios (Morungaba, Indaiatuba, Valinhos, Vinhedo, Atibaia, Itatiba, Jundiaí, Louveira, Itupeva e Jarinu) que compõem o Circuito das Frutas possuem uma significativa produção de frutas com a vantagem de estarem próximos aos grandes centros de distribuição e comercialização (Campinas e São Paulo). Apesar dessa vantagem, os produtores sofrem continuamente pressão imobiliária, associada à falta de diagnóstico preciso da fertilidade do solo e adoção de técnicas de manejo conservacionista dentro dos talhões de suas propriedades. Por isso, se faz importante o mapeamento da fertilidade do solo para auxiliar na recomendação racional do uso de insumos (adubos e corretivos), evitando excessos desnecessários. Nos vinhedos em Jundiaí,

investigados espacialmente por Valladares et al. (2009), foram identificados aumento nos teores de atributos como Cu e Zn disponíveis em decorrência da aplicação de agroquímicos no manejo fitossanitário.

Considerando o exposto, este trabalho tem como objetivo o uso da análise geoestatística no mapeamento da fertilidade do solo de seis propriedades familiares do Circuito das Frutas, localizadas nos municípios de Itatiba, Atibaia, Jundiá, Valinhos, Indaiatuba, Jarinú, no estado de São Paulo.

## Material e Métodos

Como parte de uma das atividades do projeto da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) “Geotecnologias para incrementar a competitividade e sustentabilidade da Agricultura Familiar no Circuito das Frutas do Estado de São Paulo”, as propriedades familiares dos municípios de Itatiba, Atibaia, Jundiá, Valinhos, Indaiatuba, Jarinú foram selecionadas para o diagnóstico da fertilidade do solo por meio da aplicação de questionários com as associações, cooperativas e sindicatos. As propriedades rurais foram classificadas como familiares, ou seja, onde os membros da família são proprietários e residem ou trabalham no estabelecimento como forma principal de fonte de renda. A grade amostral georreferenciada foi planejada para ser de no mínimo 30 pontos de amostragem de solo distanciados de 10 a 30 m, dependendo do tamanho do talhão com a cultura predominante de cada propriedade familiar. As amostras de solo foram coletadas georreferenciadas, nas profundidades de 0 – 20 cm, 20 – 40 cm de profundidade conforme ilustra a Figura 1 para cada município amostrado.



**Figura 1.** Grades de amostragem de solo nos municípios de Itatiba, Atibaia, Jundiá, Valinhos, Indaiatuba, Jarinú, pertencentes ao Circuito das Frutas do Estado de São Paulo.

O solo foi amostrado por gradagem para análise de fertilidade do solo, levando em consideração a vegetação, relevo e declividade e o tamanho da área das propriedades selecionadas para estudo. A coleta do solo foi realizada nos seis municípios do Circuito das Frutas (SP) nas áreas cultivadas com uva niágara, goiaba, pêssigo, ameixa e morango (Tabela 1), num total de 385 amostras georreferenciadas no período de novembro de 2016 a julho de 2017.

**Tabela 1.** Municípios amostrados, cultura frutífera e número de amostras de solo coletadas a 0-20 e a 20-40 cm de profundidade.

Município	Cultura	Amostras de solo de 0-20 cm de profundidade	Amostras de solo de 20-40 cm de profundidade
Itatiba	Uva Niágara, Ameixa e Pêssego	20	17
Indaiatuba	Uva Niágara	33	33
Atibaia	Pêssego e Morango	40	30
Jarinu	Morango	33	33
Valinhos	Goiaba	33	33
Jundiaí	Uva Niágara	40	40
Total		199	186

Os atributos diagnósticos da fertilidade do solo foram compostos pelo fósforo (resina), pH (CaCl<sub>2</sub>), potássio (Trocável), cálcio (Trocável), magnésio (Trocável), matéria Orgânica (g kg<sup>-1</sup>), saturação por bases (V%) e necessidade de Calagem (t ha<sup>-1</sup>). Foram considerados esses oito atributos da fertilidade do solo por serem mais relevantes para indicação de adubação e calagem conforme a tabela de interpretação (Tabela 2) que classifica a variação de cada um deles quanto aos níveis variando de muito baixo a altos e que podem auxiliar o produtor, indicando se há ou não necessidade de adubação para reposição e manutenção do atributo no solo. “A Tabela de interpretação”, conforme informado por Teresinha Costa Silveira de Albuquerque

(Comunicação pessoal)<sup>9</sup> foi baseada nos níveis críticos dos resultados mais comuns encontrados nas análises de solo dos produtores de frutas das diversas regiões do Brasil.

**Tabela 2.** Níveis críticos dos nutrientes da fertilidade do solo encontrados nas análises de solo dos produtores de frutas<sup>10</sup>

Nutrientes	Unidade	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto		
K disponível	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	< 0,05	0,05 - 0,15	0,16 - 0,25	> 0,25		
Ca <sup>2+</sup> trocável	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	< 1,20	1,20 - 2,00	2,10 - 3,60	> 3,60		
Mg <sup>2+</sup> trocável	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	< 0,40	0,40 - 0,70	0,80 - 1,20	> 1,20		
V (%)	%	< 20	20 - 40	40 - 60	> 60		
P	mg/dm <sup>3</sup>	< 5	5 - 10	11 - 20	> 20		
Nutrientes		Extremamente ácido	Ácido forte	Ácido muito forte	Fortemente ácido	Ácido médio	Neutro
pH (água)		4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	
Nutrientes		Muito baixo	Baixo	Médio <sup>2f</sup>	Bom	Muito Bom	
Matéria orgânica (M.O.) <sup>3f</sup>	dag/kg	< 0,70	0,71 - 2,00	2,01 - 4,00	4,01 - 7,00	> 7,00	
Soma de bases (SB)	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	< 0,60	0,61 - 1,80	1,81 - 3,60	3,61 - 6,00	> 6,00	
CTC pH 7	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	< 1,60	1,61 - 4,30	4,31 - 8,60	8,61 - 15,00	> 15,00	

A análise das amostras coletadas realizada em laboratório forneceu os dados que foram avaliados pela geoestatística, para identificação da existência ou não da variabilidade espacial. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e geoestatística segundo Vieira (2000). Para tanto, foram calculadas as semivariâncias de acordo com a distância para cada conjunto de dados, atendendo a hipótese básica de que dados vizinhos são mais pa-

<sup>9</sup> E-mail recebido pela agrônoma Célia Grego, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, da agrônoma Teresinha Costa Silveira de Albuquerque, pesquisadora da Embrapa Roraima, 8 de agosto 2018.

<sup>10</sup> E-mail recebido pela agrônoma Célia Regina Grego, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, da agrônoma Teresinha Costa Silveira de Albuquerque, pesquisadora da Embrapa Roraima, Boa Vista, RR, em 8 de agosto de 2018.

recidos do que dados distantes. Seguindo essa hipótese foram construídos e ajustados os semivariogramas, que são medidores do grau de semelhança entre vizinhos. A semivariância  $\gamma(h)$  foi estimada pela Equação 1:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2 N(h)} \sum_{i=1} N(h) \quad (1)$$

onde  $N(h)$  é o número de pares dos valores  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i+h)$ , separados por um vetor  $h$  de distância. Após o ajuste dos semivariogramas foram interpolados dados nos locais não amostrados por krigagem ordinária, para garantir a interpolação sem tendência e com variância mínima. Para os cálculos foi utilizado o programa GEOESTAT (Vieira., 2000). Os mapas de isolinhas foram gerados no programa ArcGis. 9.3.

A partir dos mapas foi possível indicar a variabilidade da fertilidade do solo nas propriedades escolhidas, bem como indicar qual atributo está no nível adequado no solo.

## Resultados e Discussão

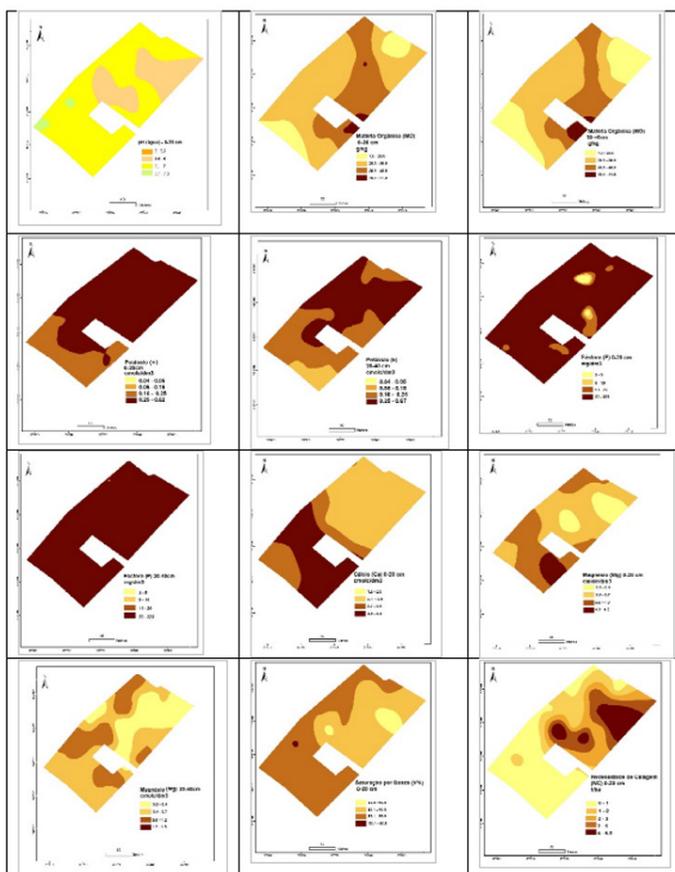
---

Os resultados obtidos foram baseados nos mapas de variabilidade espacial com interpolador Krigagem ordinária e os atributos que não apresentaram dependência não foram considerados.

Para o município de Itatiba, no solo amostrado com as culturas de pêssego, ameixa e uva, todos os atributos do solo analisados não apresentaram dependência espacial, não sendo possível a interpolação por krigagem ordinária e consequentemente os mapas de variabilidade não foram elaborados. Isso se deve, provavelmente, ao baixo número de amostras de solo coletadas nesse talhão da propriedade com diversidade de frutíferas, pois conforme indicado na Tabela 2, foram amostrados 20 pontos de 0-20 cm e 17 pontos de 20-40 cm de profundidade. A análise geoestatística requer um número mínimo de pontos, que varia em função do tamanho da área e da distância amostrada, para que os cálculos matemáticos possam ser realizados e para que se obtenha um número de pares suficientes para expressar

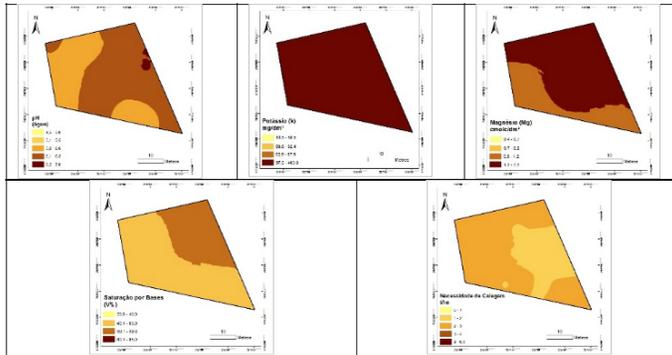
o crescimento da semivariância em função da distância, conforme reforçam Vieira (2000) e Grego et al. (2014).

Na Figura 2 são apresentados os mapas para os atributos que indicaram dependência espacial no município de Indaiatuba (cultura da uva niágara). Níveis altos de P, K e níveis de matéria orgânica de bom a médio foram encontrados em grande parte da área. A necessidade de calagem varia de 1 a 4 t ha<sup>-1</sup>.



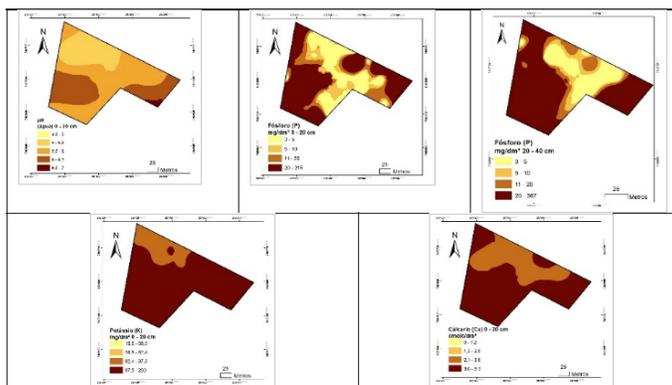
**Figura 2.** Mapas de valores interpolados com krigagem ordinária dos atributos da fertilidade do solo de 0-20 e de 20-40 cm de profundidade do município de Indaiatuba, SP.

Na Figura 3 temos os mapas de krigagem para os atributos que apresentaram dependência espacial em propriedade do município de Jarinu, SP, onde o solo foi amostrado somente de 0-20 cm, por ser cultivado com morango, que apresenta sistema radicular superficial. O potássio e o fósforo apresentam-se com níveis altos em toda a área amostrada e a necessidade de calagem varia de 1 a 2 t ha<sup>-1</sup>.



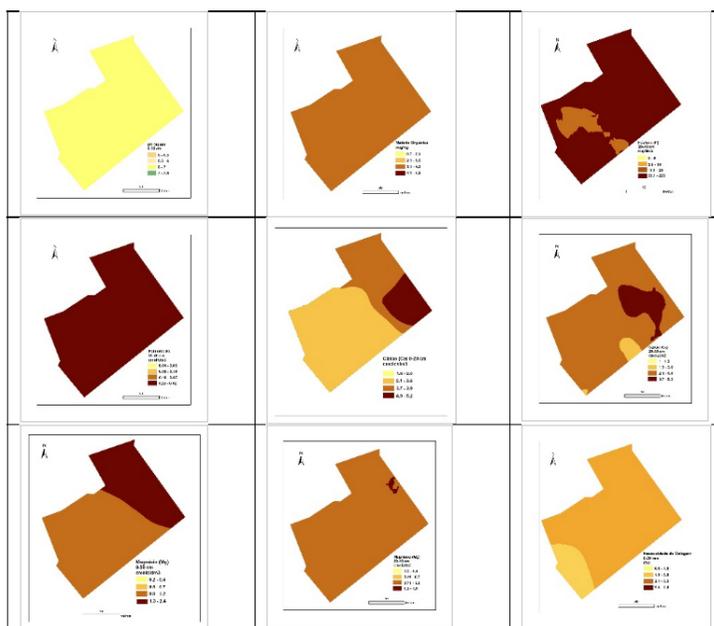
**Figura 3.** Mapas de valores interpolados com krigagem ordinária dos atributos da fertilidade do solo de 0-20 cm no município de Jarinu, SP.

Na Figura 4 tem-se os mapas de krigagem para os atributos que apresentaram dependência espacial da propriedade de Valinhos, SP, onde o solo foi amostrado de 0-20 e de 20-40 cm, com cultivo de goiaba. Níveis médios e altos foram encontrados para P, K e Ca.



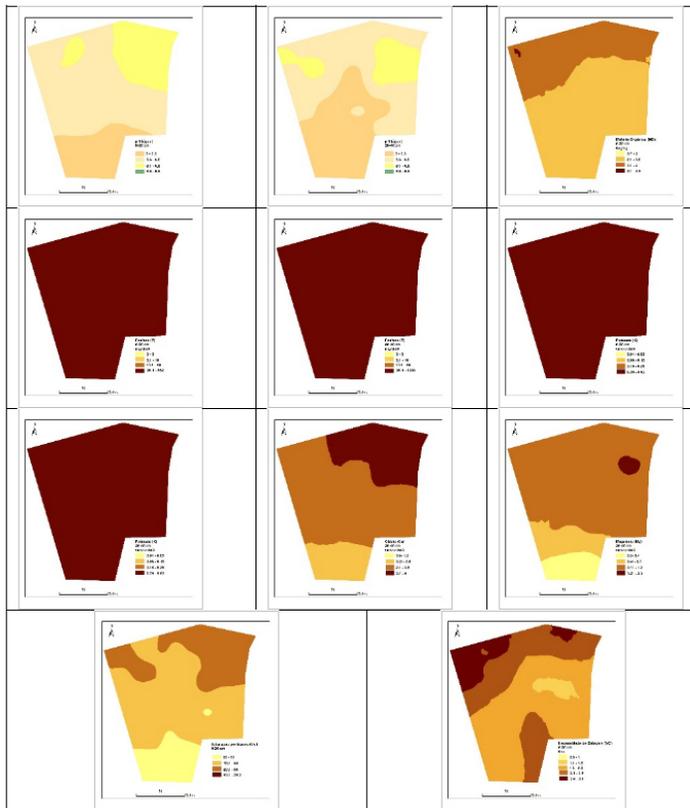
**Figura 4.** Mapas de valores interpolados com krigagem ordinária dos atributos da fertilidade do solo de 0-20 e de 20-40 cm de profundidade do município de Valinhos, SP.

Na Figura 5 são apresentados os mapas de krigagem para os atributos que apresentaram dependência espacial na propriedade de Atibaia, SP, onde o solo foi amostrado de 0-20 e de 20-40 cm com cultivo de pêssigo. Níveis altos de Mg, P, K foram obtidos em grande parte da área. Matéria orgânica com nível bom principalmente de 0-20 cm e a necessidade de calagem de 1 a 2 t ha<sup>-1</sup> também foram predominantes na área amostrada.



**Figura 5.** Mapas de valores interpolados com krigagem ordinária dos atributos da fertilidade do solo de 0-20 e de 20-40 cm de profundidade do município de Atibaia, SP.

Na Figura 6 estão representados os mapas de krigagem para os atributos que apresentaram dependência espacial da propriedade de Jundiá, SP, onde o solo foi amostrado de 0-20 e de 20-40 cm com a cultura da uva. Níveis altos de P, K foram obtidos em toda a área. Matéria orgânica com nível bom a médio e a necessidade de calagem de 1 a 2 t ha<sup>-1</sup> também foram encontrados.



**Figura 6.** Mapas de valores interpolados com krigagem ordinária dos atributos da fertilidade do solo de 0-20 e de 20-40 cm de profundidade no município de Jundiá, SP.

## Conclusões

- a) Com a ferramenta de análise geoestatística foi possível evidenciar a dependência espacial para os atributos do solo nas áreas frutíferas amostradas com grade superior a 30 pontos de amostragem (pêssego em Atibaia, uva em Jundiá, morango em Jarinu, goiaba em Valinhos e uva em Indaiatuba). Nessas propriedades, os mapas de variabilidade espacial com interpolador Krigagem ordinária permitiram identificar a variação espacial dentro do talhão, principalmente para altos níveis de potássio, fósforo, cálcio, magnésio e necessidade de calagem variando de 1 até 4 t ha<sup>-1</sup>.

- b) A utilização da geoestatística, portanto, se mostrou útil para indicar onde o atributo relacionado à fertilidade do solo está em excesso, para que o produtor do Circuito das Frutas possa tomar decisões de manejo e uso de insumos de modo mais racional, visando aumentar a produtividade, reduzir custo de produção e proteger o meio ambiente. Esses resultados foram apresentados e discutidos com os produtores, técnicos e especialistas por meio de dia de campo realizado na propriedade familiar amostrada de Indaiatuba em agosto de 2018 no intuito de validação e aplicação na prática do manejo diferenciado do uso de insumos pelos produtores. Os resultados também foram apresentados aos órgãos interessados (representantes das prefeituras de Jundiaí e Louveira, do Instituto de Economia Agrícola de São Paulo (IEA), da Coordenadoria de Assistência Técnica Integrada (Cati) e da Federação das Associações de Produtores Rurais do Circuito das Frutas do Estado de São Paulo no workshop final do projeto realizado em outubro de 2018.

## Referências

---

ASSOCIAÇÃO DO CIRCUITO DAS FRUTAS. **Sobre a Associação de Turismo Rural do Circuito das Frutas**. 2016. Disponível em: <<http://www.circuitodasfrutas.com.br/conheça-a-associação-do-circuito-das-frutas>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 1997. 476 p.

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

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P. de; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap. 5, p. 74-83.

MILLER, M. P.; SINGER, M. J.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, n. 4, p. 1133-1141, 1988. DOI: 10.2136/sssaj1988.03615995005200040045x.

SRIVASTAVA, R. M. Describing spatial variability using geostatistics analysis. In: ROUHANI, S.; SRIVASTAVA, R. M.; DESBARATS, A. J.; CROMER, M. V.; JOHNSON, A. I. (Eds).

**Geostatistics for environmental and geotechnical applications**. West Conshohocken,: American Society for Testing and Materials, 1996. p. 13-19.

VALLADARES, G. S.; AZEVEDO, E. C. de; CAMARGO, O. A. de; GREGO, C. R.; RASTOLDO, A. M. C. S. Variabilidade espacial e disponibilidade de cobre e zinco em solos de vinhedos e adjacências. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 733-742, 2009.

VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Temas em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 3-87.

VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. ; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Spatial relationships between soil water content and hydraulic conductivity in a highly structured clay soils. In: TEIXEIRA, W. G.; CEDDIA, M. B.; OTTONI, M. V.; DONNAGEMA, G. K. (Ed.). **Application of soil physics in environmental analysis: measuring, modelling and data integration**. Heidelberg: Springer, 2014. pt. II, chap. 4, p. 75-90. (Progress in soil science).



---

*Informática Agropecuária*

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO

