

# CRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE MODELOS DE SEMIVARIOGRAMA DE PARÂMETROS DE FERTILIDADE DO SOLO NO CAFEIEIRO

Paula Corsini Ribeiro<sup>1</sup>, Rouverson Pereira da Silva<sup>2</sup>, Leonardo Campos de Assis<sup>3</sup>, Felipe Santinato<sup>4</sup>, e Roberto Santinato<sup>5</sup>

**RESUMO:** Para a elaboração dos mapas de isolinhas de fertilidade do solo gerados por técnicas de Agricultura de Precisão, existem uma série de procedimentos, que exigem critérios, até que se chegue na etapa de escolha do modelo que irá representar o parâmetro. Quando o modelo não é corretamente escolhido ocorre inconsistências nos mapas podendo levar o agricultor ao erro nas recomendações e consequentemente nas aplicações. Isto pois, cada modelo gera um mapa de isolinha distinto. Diante disto objetivou-se neste trabalho avaliar a dependência espacial de parâmetros de fertilidade do solo, levando em consideração critérios geoestatísticos para a escolha do modelo empírico do semivariograma. Realizou-se o estudo com dados coletados em área de 50,0 ha, e gride uniforme de 50 x 100 m. Analisou-se os dados pelos softwares R e ArcGis. Inicialmente procedeu-se o teste do Índice Global de Moran para verificar a autocorrelação dos dados. Somente então, apenas para os parâmetros que obtiveram a autocorrelação, prosseguiu-se com as análises geoestatística. Utilizou-se o Índice de Cambardella, o coeficiente de determinação e os critérios AIC e BIC como critérios de seleção dos modelos. A pesquisa ressaltou a importância da existência destes critérios para a escolha dos modelos do semivariograma mais adequados visto a presença de poucas diferenças entre os critérios para a seleção de modelos, podendo os modelos representar mapas de isolinhas desconformes, levando o agricultor à erros nas recomendações agrônômicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** dependência espacial, café, taxa variável

## Introdução

A literatura apresenta trabalhos que caracterizaram a variabilidade espacial da disponibilidade de fósforo, potássio e de outros parâmetros de fertilidade do solo na lavoura cafeeira, evidenciando sua dependência espacial e permitindo a construção de mapas que auxiliam nas recomendações de adubação e outros (FERRAZ et al., 2012). A recomendação da adubação é realizada em função do teor do nutriente do solo, além de outras características que influem em sua dinâmica no solo e na planta, como teor de matéria orgânica e argila por exemplo. Os estudos afirmam que a grande amplitude nos parâmetros de fertilidade do solo justifica a aplicação diferenciada e localizada de fertilizantes na lavoura cafeeira (SILVA et al., 2007). Estas são realizadas à taxa variável e apresentam elevada precisão (BARROS et al., 2015). Os mapas de aplicação de taxa variável são produzidos em função dos mapas de isolinhas dos parâmetros de fertilidade do solo gerados através da interpolação dos pontos conhecidos. Dessa forma, a escolha do

1. Paula Corsini Ribeiro – Acadêmica em Engenharia Agrônoma FCAV/UNESP Jaboticabal, Rua Campos Bicudo, 210 Recreio dos Bandeirantes – Jaboticabal – SP, [paula\\_corsini@hotmail.com](mailto:paula_corsini@hotmail.com), (16) 98152-6040
2. Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, docente do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP – Jaboticabal, SP
3. Prof. Dr. Leonardo Campos de Assis, UNIUBE, Uberaba, MG
4. Dr. Felipe Santinato – Diretor Santinato & Santinato Cafés Ltda; Presidente Associação dos Cafeicultores de Patos de Minas, MG (ASSOPATOS)
5. Roberto Santinato – Engenheiro Agrônomo, Santinato&Santinato Cafés, Campinas, SP

modelo do semivariograma, que define a interpolação e os mapas de isolinhas, é essencial para o acerto na recomendação da adubação. Pressupõe-se que para que um parâmetro apresente dependência espacial, primeiramente deve-se haver autocorrelação, autocorrelação verifica o grau de associação espacial e é realizada pelo Índice de Moran Global. Quando não há associação espacial, não se justifica a abordagem geoestatística. O presente trabalho teve por objetivo empregar uma metodologia criteriosa na análise geoestatística de parâmetros de fertilidade do solo.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido em uma lavoura de café, do cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, plantada no espaçamento 4,0 x 0,5 (5.000 plantas ha<sup>-1</sup>) em regime de irrigação por Pivô central LEPA (*Low Energy Pressurized Application*), localizado no centro-oeste do estado de Minas Gerais, região do Cerrado Mineiro, no município de Presidente Olegário. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006), textura argilo-arenosa, com teores de argila, silte e areia de 344, 113 e 543 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Utilizou-se toda a lavoura plantada no Pivô de café, de 50 ha (500.000 m<sup>2</sup>) com 100 pontos, amostrados a uma distância mínima de 50 m (gride de 0,5 ha); para o georreferenciamento do experimento utilizou-se um par de receptores GNSS R8 dotado de posicionamento relativo cinético em tempo real, RTK (Real Time Kinematic). Em cada ponto amostral foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm para análise química do solo, determinando-se os teores de fósforo e boro, a saturação de cálcio, potássio e de magnésio na C.T.C e o Índice de saturação de bases (V%). As análises de solo foram realizadas no Laboratório Instituto Brasileiro de Análises (IBRA), em Campinas, SP. Os dados foram submetidos à análise geoestatística, com o objetivo de se definir o modelo de variabilidade espacial dos atributos do solo envolvidos neste estudo obtendo-se, os semivariogramas e, posteriormente, os mapas de isolinhas, através da krigagem. Para esta pesquisa submeteu-se os dados à avaliação de autocorrelação espacial utilizando o Índice de Moran Global (IMG) e em seguida do padrão de agrupamento por meio do Índice de Moran Local (IML) (WANG, 2015). Utilizou-se os softwares R e ArcGIS versão 10.1 para a análise exploratória dos dados.

## Resultados e Discussão

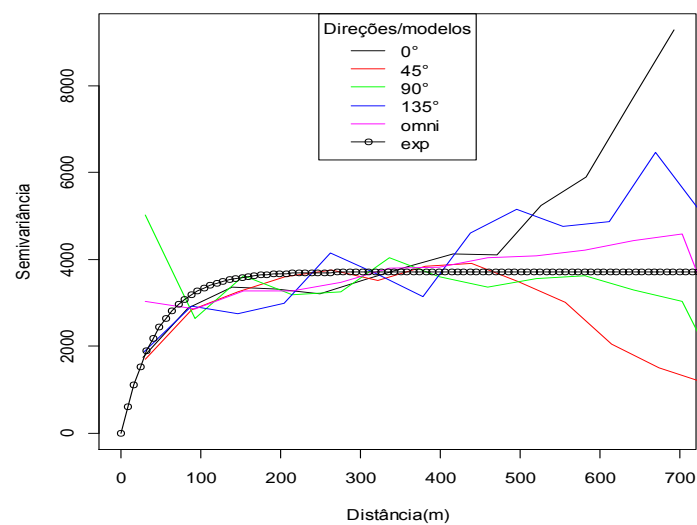
Dos parâmetros estudados apenas o fósforo, boro, Ca na C.T.C e potássio na C.T.C apresentaram autocorrelação espacial segundo o Índice de Moran Global. Como os demais não apresentam autocorrelação espacial, apresentaram distribuição aleatória no pivô, não sendo possível prosseguir com as análises (Tabela 1).

**Tabela 1.** Índice de Moran Global para os parâmetros estudados.

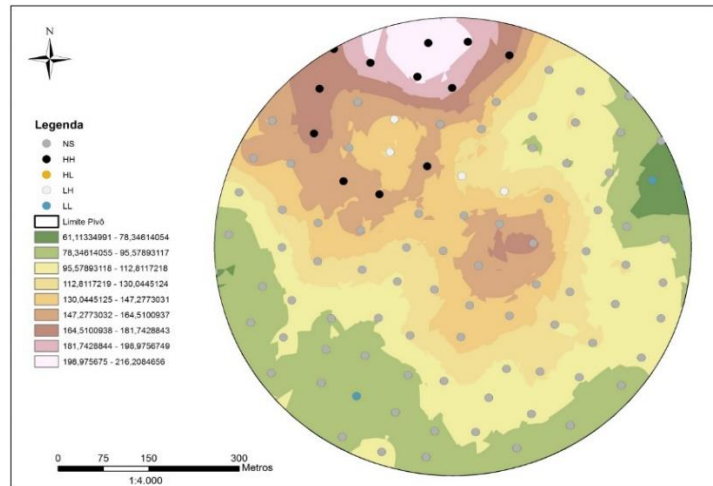
| Parâmetro e respectivo raio de busca | Índice de Moran | z-score | p-valor |
|--------------------------------------|-----------------|---------|---------|
| Fósforo no solo com raio de 150 m    | 0,2062          | 4,87    | 0,0     |
| Fósforo no solo com raio de 300 m    | 0,1385          | 6,62    | 0,0     |
| V% com raio de 150 m                 | 0,0104          | 0,47    | 0,6114  |
| V% com raio de 300 m                 | 0,0011          | 0,51    | 0,612   |
| Boro no solo com raio de 150 m       | 0,0913          | 2,28    | 0,0224  |
| Boro no solo com raio de 300 m       | 0,0360          | 2,06    | 0,0397  |

|                                     |          |        |        |
|-------------------------------------|----------|--------|--------|
| Cálcio na C.T.C com raio de 150 m   | 0,0859   | 2,16   | 0,0306 |
| Cálcio na C.T.C com raio de 300 m   | 0,0471   | 2,55   | 0,0107 |
| Potássio na C.T.C com raio de 150 m | 0,1108   | 3,03   | 0,0024 |
| Potássio na C.T.C com raio de 300 m | 0,0312   | 2,05   | 0,0404 |
| Magnésio na C.T.C com raio de 150 m | - 0,0645 | - 1,22 | 0,2237 |
| Magnésio na C.T.C com raio de 300 m | - 0,035  | - 1,1  | 0,2716 |

Para o fósforo no solo, a dependência espacial não foi verificada com nenhum modelo testado. O modelo exponencial apresentou efeito pepita puro, os demais apresentaram inconsistência no ajuste pelo método da máxima verossimilhança. O efeito pepita puro significa que um ponto que esteja mais próximo ao ponto amostral não tem necessariamente maior influência no valor estimado, o que se resume em desconsiderar a correlação espacial, ou seja, não há vantagem em se utilizar a ferramenta da geoestatística para o estudo do parâmetro. Como alternativa, pode-se fazer a interpolação por métodos determinísticos mais simples, como por exemplo, o inverso da distância ponderada. Porém, nesta pesquisa optou-se por continuar a utilizar a Krigagem. (Figuras 1 e 2).

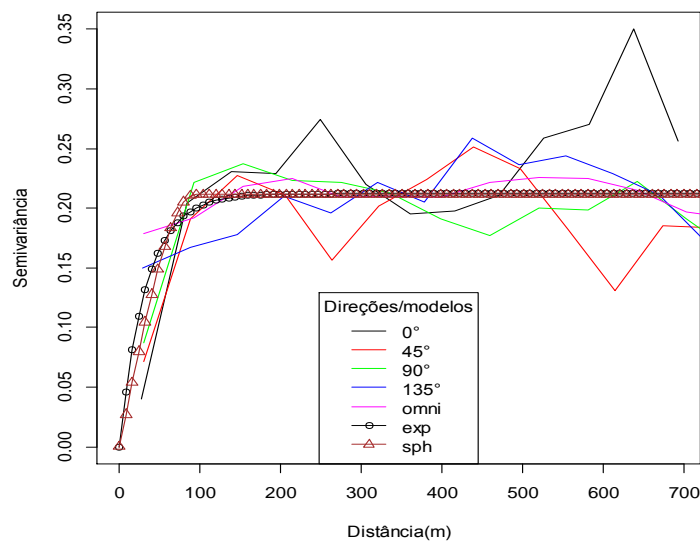


**Figura 1.** Semivariograma para fósforo no solo de cultivo de café

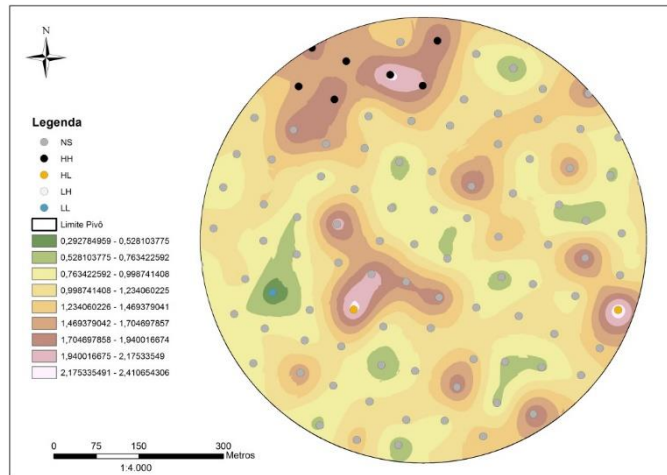


**Figura 2.** Mapa de distribuição para fósforo no solo de cultivo de cafeeiro

A dependência espacial não foi detectada para o parâmetro boro no solo, uma vez que os modelos esférico e exponencial apresentaram efeito pepita puro. O modelo gaussiano não obteve ajuste pelo método da máxima verossimilhança, apresentando inconsistência. Sendo assim, da mesma forma que para o P, optou-se por continuar a análise, escolhendo, neste caso o modelo escolhido o modelo esférico por ter maior coeficiente de determinação em relação ao exponencial (Figuras 3 e 4).

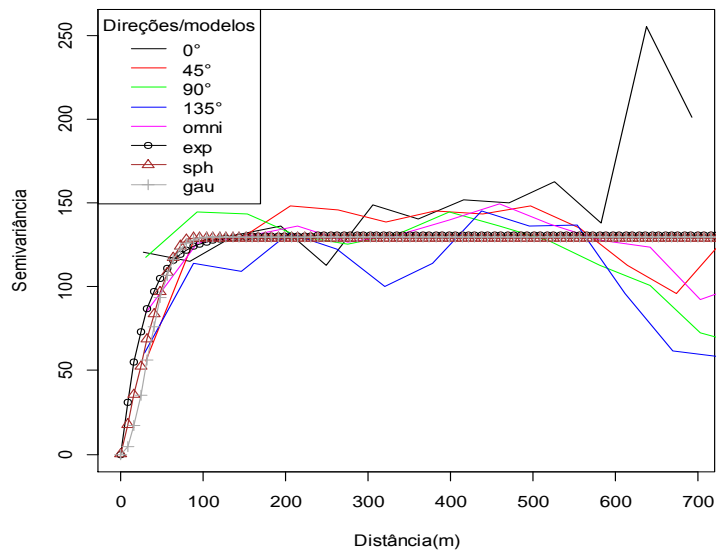


**Figura 3.** Semivariograma para boro no solo de cultivo de cafeeiro

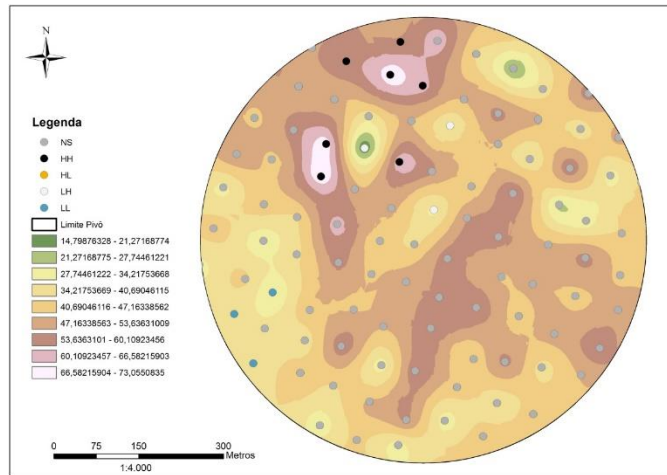


**Figura 4.** Mapa de distribuição para boro no solo de cultivo de cafeeiro

O Ca na C.T.C não apresentou dependência espacial, pois exibiu efeito pepita puro nos três modelos testados. O modelo esférico obteve o maior  $R^2$ , sendo o escolhido para representá-lo e utilizado para interpolação por Krigagem (Figuras 5 e 6).

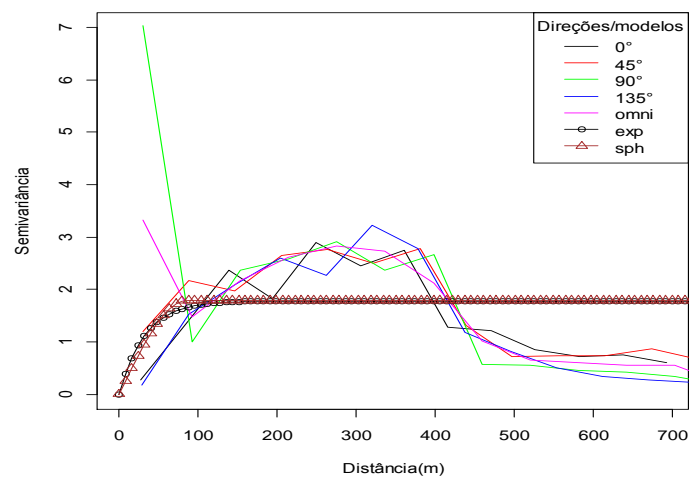


**Figura 5.** Semivariograma para cálcio na C.T.C do solo de cultivo de cafeeiro

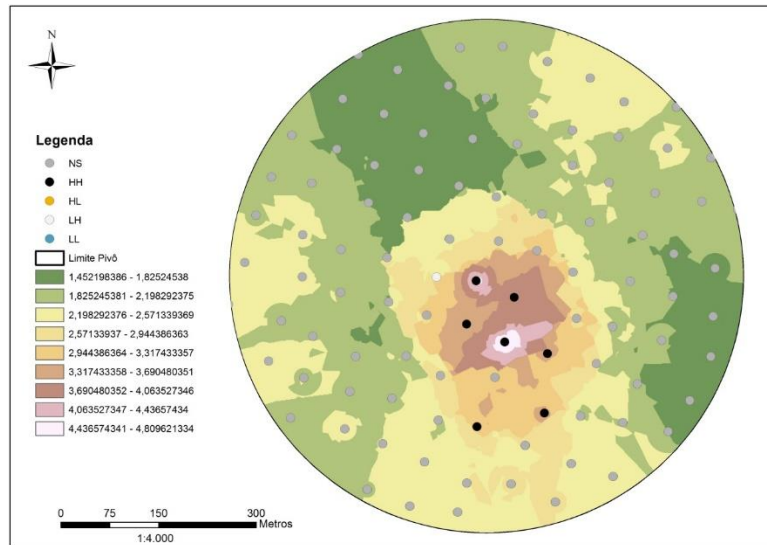


**Figura 6.** Mapa de distribuição para cálcio na C.T.C do solo de cultivo de cafeeiro

Para o potássio na C.T.C, ambos os modelos não tiveram dependência espacial, uma vez que apresentaram efeito pepita puro. O modelo gaussiano não apresentou ajuste. Considerou-se para avaliação e seleção de modelos aquele que apresentou melhor desempenho segundo os critérios pré-estabelecidos como Índice de Cambardella,  $R^2$ , AIC e BIC. O modelo esférico foi adotado por ter  $R^2$  superior ao modelo exponencial (Figuras 7 e 8).



**Figura 7.** Semivariograma para potássio na C.T.C do solo de cultivo de cafeeiro



**Figura 8.** Mapa de distribuição para potássio na C.T.C do solo de cultivo de cafeeiro

Como as faixas de fertilidade são estreitas para alguns nutrientes, pode-se ocorrer erros na adubação influenciados pela escolha errônea do modelo. O alcance da dependência espacial é um atributo importante no estudo dos semivariogramas, pois representa a distância máxima em que os pontos amostrais estão correlacionados espacialmente entre si (CHAVES & FARIAS, 2009), ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ou inferior ao alcance do parâmetro são mais semelhantes. Os pontos localizados além deste raio são bem distintos e não exercem entre si dependência espacial. No trabalho não foi possível identificar dependência espacial, devido ao efeito pepita zero presente em todos os parâmetros.

Das quatro variáveis avaliadas, três foram representadas pelo modelo esférico e uma pelo exponencial considerou-se para avaliação e seleção de modelos aquele que apresentou melhor desempenho segundo os critérios pré-estabelecidos como Índice de Cambardella,  $R^2$ , AIC e BIC. Quando não se adota tais critérios, e a escolha do modelo é empírica, ou é influenciada por outros trabalhos da literatura, podem ocorrer grandes variações nos mapas de isolinhas elaborados. Dessa forma, os mapas de aplicação à taxa variável vão ser distintos, gerando incerteza no que está se aplicando. Como as faixas de fertilidade são estreitas para alguns nutrientes, pode-se ocorrer erros na adubação influenciados pela escolha errônea do modelo. Podem existir situações em que a adubadora deixa de aplicar determinado insumo devido à interpretação do mapa de aplicação que está seguindo, ocasionando uma adubação insuficiente que irá refletir em reduções na produtividade. Da mesma forma, doses excessivas de determinado insumo podem ser aplicadas prejudicando a cultura (MATIELLO et al., 2015). Como no experimento adotou-se o gride de 0,5 ha, ou seja, dois pontos a cada 1 ha, a grade amostral é a cada 50 x 100m, acredita-se que não foi suficiente para verificar a dependência espacial de todos os parâmetros estudados. Aparentemente, a verificação da autocorrelação espacial pelo Índice de Moran Global em etapa anterior à modelagem, não é garantia para dependência espacial, ou seja, pode ser que exijam grades com maior número de vizinhos próximos (gride inferior à 0,5 ha), com grade de amostragem inferior à 50 m, devido à tamanha variabilidade e aleatoriedade da variável no solo. Como em outros trabalhos foram verificadas dependências espaciais em

parâmetros que neste trabalho não foram (SILVA et al., 2007; FERRAZ et al., 2012), acredita-se que o gride amostral correto seja variável conforme as características de cada local e/ou lavoura, devendo-se ter sempre uma maior quantidade de pontos próximos, para poder garantir maior validade dos resultados.

## Conclusão

1 – A escolha do modelo do semivariograma é de grande importância e responsabilidade pois existem diferenças nos mapas de isolinhas produzidos entre os modelos, acarretando em alterações nas recomendações de adubação, podendo refletir negativamente na produtividade.

2 – A presença de autocorrelação espacial não garante a existência de dependência espacial do parâmetro avaliado.

3 – Dependendo do parâmetro pretendido, grides atualmente tidos como adensados, não são suficientes para se verificar a dependência espacial, sendo necessária nova metodologia de coleta de dados e análise como por exemplo uma sub-divisão da área estudada, fazendo agrupamentos de dados, já que estes se agrupam, geralmente nas extremidades das áreas.

## Referências

BARROS, M.M.; VOLPATO, C.E.S.; SILVA, F.C.; PALMA, M.A.Z.; SPAGNOLO, R.T. Avaliação de um sistema de aplicação de fertilizantes a taxa variável adaptado à cultura cafeeira. **Coffee Science**, v.10, n.2, p.223-232, 2015.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, p.211-218, 2009.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes e Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. 176 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, DF, 2006 Rio de Janeiro. 412 p.

FERRAZ, G.A.S.; SILVA, F.M.; COSTA, P.A.N.; SILVA, A.C.; CARVALHO, F.M. Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, v.7, n.1, p.59-67, 2012.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S.R.; GARCIA, A.W.R. **Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações**: ed. 2015/ editor Futurama, 585 p.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na Cultura do Café**. Belo Horizonte: O Lutador, 2.ed., 476p., 2008.

SCOTT, L. M. & JANIKAS, M. V. **Spatial Statistics in ArcGIS**. In: FISCHER, M. M. & GETIS, A. (Eds.). **Handbook of Applied Spatial Analysis: Software Tools, Methods and Applications**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. 27-41.



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

WANG, S.; LUO, K.; LIU, Y. Spatio-temporal distribution of human lifespan in China. **Scientific Reports**, 5:13844, 2015. DOI: 10.1038/srep13844.