

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Solos  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo  
Departamento de Propriedade Intelectual e Tecnologia da Agropecuária*

# **GEOESTATÍSTICA APLICADA NA AGRICULTURA DE PRECISÃO UTILIZANDO O VESPER**

*Ronaldo Pereira de Oliveira  
Célia Regina Grego  
Ziany Neiva Brandão*  
**Editores Técnicos**

**Embrapa**  
*Brasília, DF*  
2015

## Capítulo 6

---

Ronaldo Pereira de Oliveira

# Predição Espacial

## 6.1 Krigagem no Vesper

Com base nas definições e fundamentos dos métodos de interpolação por krigagem discutidos anteriormente nos Itens 3.5 e 3.6, este capítulo apresenta as opções de processamento da krigagem disponíveis na aba “*Kriging*” da janela principal do Vesper, onde, apenas as opções de menu e a lógica sequencial dos procedimentos são ilustradas com base nas aplicações e conceitos típicos já apresentados.

O Vesper executa métodos clássicos de krigagem, como a krigagem simples e a krigagem ordinária, segundo estimativas de variogramas globais e locais, respectivamente. O processamento ainda inclui as opções de interpolação por pontos ou por blocos. Uma interface amigável permite ao usuário criar, interativamente, um contorno limítrofe da área considerada, e a geração de uma grade regular de interpolação. O principal diferencial do Vesper está numa abordagem de análise automática de variogramas locais, que tem a capacidade de ajustar o processo estimação segundo as diferenças locais na estrutura de variação espacial da variável considerada.

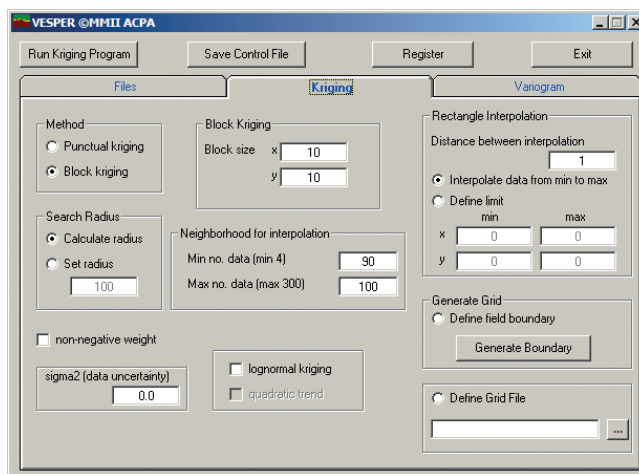
De maneira simples, a krigagem é um método de predição espacial do valor de uma variável regionalizada em um determinado local não observado, dentro da área de interesse. É um procedimento de interpolação exato, que leva em consideração os valores observados dentro de uma vizinhança do ponto a ser estimado. Na estimativa por krigagem, as distâncias de ponderação entre os vizinhos mais próximos são embasadas em parâmetros obtidos na análise variográfica, levando em consideração a distância entre amostras e a sua estrutura de agrupamento.

De maneira bem pragmática, Camargo et al. (2004) resumem as seguintes características da krigagem:

- Método geoestatístico estimador que leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas;
- Nas variáveis regionalizadas uma certa continuidade espacial é esperada, o que permite que os dados obtidos por amostragem de certos pontos possam ser usados para parametrizar a estimação de pontos onde o valor da variável seja desconhecido;
- Ao ser constatado que a variável não possui continuidade espacial na área estudada, não há sentido lógico em estimar/interpolarm usando-se a krigagem.

## 6.2 Definição de Parâmetros de Krigagem

A aba “**Kriging**” na janela principal do Vesper (Figura 6.1) resume os parâmetros necessários para o processamento de krigagem ordinária. Estes podem ser subdivididos em quatro blocos distintos. O lado direito da aba concentra os campos de definição da grade regular de interpolação, sendo a resolução espacial da grade, em metros, e o limite de interpolação, seja por uma área retangular ou por um contorno, definido pelo usuário. Os campos de opções “**Method**” e “**Block Kriging**” definem o tipo de krigagem, se por pontos ou blocos, e, para a segunda opção, as dimensões do bloco. Os campos localizados no centro da aba, “**Search Radius**” e “**Neighborhood for interpolation**”, definem as condições de vizinhança da análise. E por fim, na parte inferior, apresenta três outros parâmetros opcionais que serão detalhados a diante.



**Figura 6.1.** Aba de krigagem (i.e.: “*Kriging*”) na janela principal do Vesper, com as opções para definição dos parâmetros da krigagem como: resolução da grade de interpolação, limite da área para interpolação, modo de krigagem (i.e.: por ponto ou por bloco), condições de vizinhança e outros parâmetros alternativos.

### 6.3 Geração da Grade e do Contorno de Interpolação

A interpolação por krigagem tem base em uma grade regular de estimação. Ou seja, uma matriz de pontos regularmente espaçados, para os quais os valores da variável são desconhecidos e serão preditos a partir dos pontos vizinhos onde o valor absoluto da variável é conhecido. No Vesper esta grade pode ser gerada de diferentes maneiras.

Na opção “*Rectangle Interpolation*”, o limite da área a ser interpolada pode considerar os limites mínimos e máximos da extensão do retângulo envolvente dos dados, ou uma subárea retangular, definida pelos pares de coordenadas de uma diagonal, onde o espaçamento regular entre os pontos da grade é definido por uma distância em metros, gerando uma grade regularmente espaçada com contorno retangular. Estas opções se aplicam em casos onde o talhão tem dimensões retangulares bem definidas, não havendo necessidade do delineamento de um contorno, pois a própria extensão da nuvem de dados define o contorno limítrofe da área.

Na opção “**Generate Grid**”, o arquivo do contorno limítrofe da interpolação pode ser carregado, se previamente gerado no Vesper ou por outro sistema (e.g.: coordenadas coletadas com GNSS). O botão “Generate Boundary”, se ativado, abrirá uma sub-janela interativa, onde os pontos do arquivo de dados brutos serão plotados (Figura 6.2.a), e um contorno vetorial poderá ser definido manualmente, por meio de vértices, com o uso do *mouse*. A definição manual do contorno se aplica quando o talhão tem geometria irregular, triangular ou poligonal, onde o contorno toma a forma que engloba toda a nuvem de pontos e confina a geração da grade na superfície delimitada.

Para interagir no delineamento do contorno, o seguinte procedimento é necessário:

1. No ponto onde se pretende iniciar o contorno, clicar com o botão direito do *mouse*;
2. Em seguida, clicar com o botão esquerdo do *mouse* nos locais onde se pretende definir os vértices do contorno, de forma recursiva, no sentido horário ou anti-horário, até completar todo o contorno da nuvem de pontos.
3. Ao retorna nas proximidades do ponto inicial, e após definir o último vértice; pressione o botão direito do *mouse*, outra vez, para finalizar o contorno.
4. Ao encerrar o contorno, a sub-janela de confirmação “**Vesper Interface**” vai confirmar se o arquivo texto do contorno será salvo (Figura 6.2.b). Caso confirmado, a janela “**Save boundary as ...**” vai permitir o arquivo de contorno ser salvo na pasta e com o nome desejados.

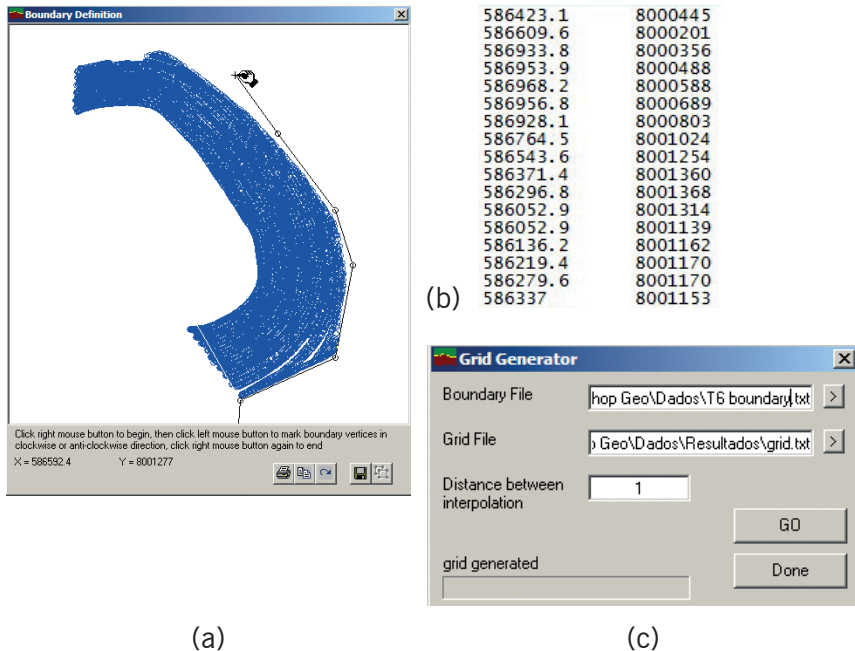
Uma vez salvo, o arquivo de contorno poderá ser carregado para fins de processamento e geração de uma grade regular delimitada pelo contorno. Para isto, deve-se:

1. Selecionar o botão radial “**Define field boundary**”;
2. A sub-janela “**Open Boundary File ...**” abrirá automaticamente, para a seleção do arquivo de contorno gerado no procedimento anterior;
3. Após selecionado o arquivo de contorno, a sub-janela “**Grid Generator**” abrirá automaticamente para definição do nome e do local de armazenamento da grade de interpolação gerada;

4. No campo “**Distance between interpolation**”, dimensionar a resolução espacial da grade, em metros, e depois clicar em “**Go**”.

Uma última opção “**Define Grid File**” considera a existência de uma grade regular previamente definida, seja ela delimitada por um contorno irregular ou por uma região retangular. Neste caso, basta selecionar o botão radial “**Define Grid File**” e clicar no botão de seleção da pasta e do nome do arquivo da grade já existente.

Após todas as definições para geração do contorno e da grade de interpolação, outros parâmetros relativos ao método de interpolação por krigagem podem ser definidos em relação a: a) dimensão espacial da estimativa, se por ponto ou por bloco; b) vizinhança do ponto sendo estimado; e c) transformações matemáticas alternativas.

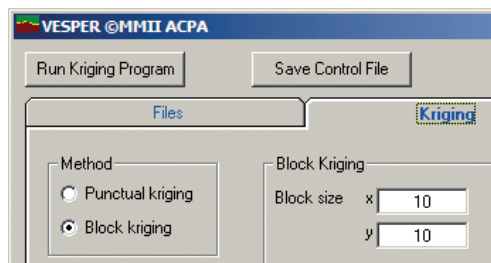


**Figura 6.2.** Sub-janelas da aba de krigagem para geração interativa do contorno e da grade regular de interpolação, sendo: a) delineamento manual do contorno limítrofe da grade de interpolação; b) arquivo de texto delimitado contendo os pares de coordenadas dos vértices do contorno; e c) definição da resolução espacial (i.e.: distância entre os pontos interpolados) para geração da grade de estimativa.

## 6.4 Krigagem por Ponto ou por Bloco

A escolha do método para krigagem é feita na parte superior esquerda da aba de krigagem (Figura 6.3), no campo método de estimação, “**Method**”; selecionando-se alternativamente entre os botões radiais com as opções de krigagem pontual, “**Punctual kriging**”, ou por blocos, “**Block kriging**”. O outro campo relativo a esta definição do método de krigagem está associado ao tamanho do bloco, “**Block Kriging**”, onde a largura e o comprimento do bloco são definidos em metros. As características destas abordagens são detalhadas no Item 3.6, onde:

- A krigagem por pontos estima um valor exato para cada ponto da grade de interpolação, favorecendo assim a representação de fenômenos com mudanças mais abruptas na variação espacial de seus valores; e
- A krigagem por blocos prediz um valor segundo a média ponderada das observações de uma área centrada nos pontos da grade de interpolação, tendendo a suavizar mais os valores estimados, quanto maior for o tamanho do bloco. Em contrapartida, um bloco de 0 m<sup>2</sup> é equivalente a krigagem por pontos. O tamanho de bloco é pré-definido no Vesper (i.e.: 10 m<sup>2</sup>) considerando uma resolução espacial do cálculo que é compatível com a área definida pela largura típica das plataformas e a velocidade de operação das colheitadeiras usadas na AP. O que permite analisar a variabilidade na mesma escala em que a variável foi monitorada.



**Figura 6.3.** Escolha da dimensão espacial para o cálculo de interpolação, sendo o método pontual, ou por blocos.

## 6.5 Parâmetros de Vizinhança

Os números mínimos e máximos de pontos vizinhos a serem considerados na krigagem são definidos no campo de vizinhança da interpolação, “**Neighbourhood for interpolation**” (Figura 6.4), onde um mínimo de 90 pontos é predefinido considerando a krigagem com ajuste local do variograma. Este valor tem base na formulação matemática, considerando que um grupamento de vizinhos com menos de 90 pontos pode comprometer a estatística para o cálculo preciso do variograma. No caso da amostragem de atributos de solo por grade regular, em geral com poucos pontos observados em relação a área sendo analisada, este valor tem que ser diminuído para viabilizar a busca pelo número mínimo de vizinhos.

No campo que define o raio de busca por vizinhos, “**Search Radius**”, é possível definir uma distância até a qual, um ponto conhecido vai ser considerado como vizinho do ponto da grade de interpolação sendo estimado. Com a opção “**Calculate radius**” selecionada o raio de busca é calculado de forma automática em função da densidade amostral. A opção é predefinida e indicada pela equipe envolvida no desenvolvimento do Vesper.

Search Radius	
<input checked="" type="radio"/> Calculate radius	
<input type="radio"/> Set radius	
	100
Neighborhood for interpolation	
Min no. data (min 4)	90
Max no. data (max 300)	100

**Figura 6.4.** Parâmetros de busca por pontos vizinhos na ponderação do cálculo do ponto sendo estimado na grade de interpolação.

## 6.6 Parâmetros Alternativos

Os parâmetros de krigagem localizados na parte inferior da aba são de caráter de pesquisa, não visando aplicações genéricas e sendo pouco documentados no manual do usuário em inglês. Por tanto, são pouco utilizados. Caso haja dúvidas ou interesse no uso destas funções, a equipe responsável pelo desenvolvimento deverá ser contatada.



Os parâmetros alternativos de krigagem são:

<b>“Lognormal Kriging”</b>	Executa a transformação log-normal nos dados de entrada antes da interpolação, podendo ser útil quando a análise exploratória indica que a variável não apresenta normalidade na sua distribuição;
<b>“Non-negative weight”</b>	Função utilizada para evitar valores extremos (e.g.: probabilidades, densidades ou concentrações negativas); e
<b>“Sigma2 (data uncertainty)”</b>	Fornece uma estimativa da variância ou incerteza nos dados.

## 6.7 Execução da Krigagem

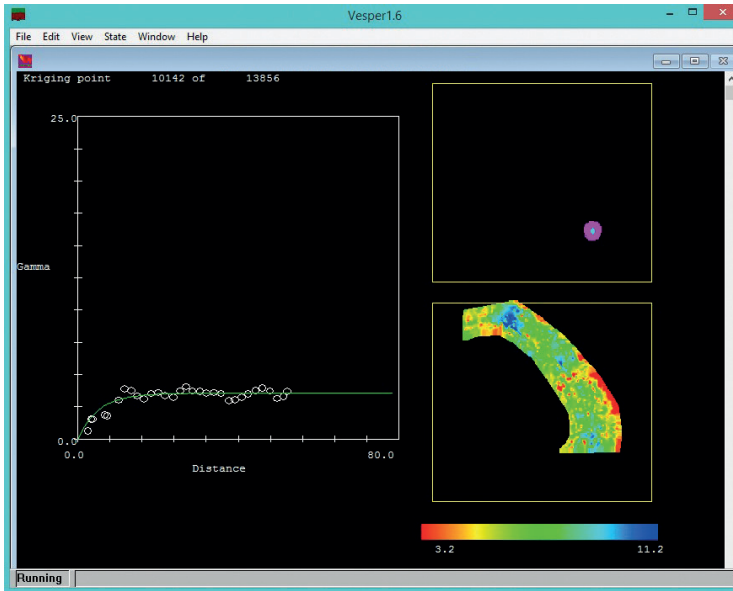
A execução da interpolação por krigagem só poderá ser iniciada após a definição de todos os parâmetros necessários aos seguintes blocos de procedimentos como já descritos, sendo:

- Definição do método de krigagem (i.e.: por ponto ou bloco) e das condições de busca pelo grupamento de vizinhos para a interpolação (i.e.: raio de busca, número mínimo e máximo de pontos);
- Definição do limite e da resolução da grade de interpolação; e
- Definição do modo de ajuste do variograma, sendo local ou global (Item 5.1). O ajuste em modo local é automático, basicamente aceitando ou alterando valores predefinidos na aba **“Variogram”** para as variáveis de cálculo e ajuste do variograma. Em modo global, o ajuste deverá ser feito clicando clicar no botão operacional **“Fit Variogram”** para ativação da sub-janela **“Variogram Model”**.

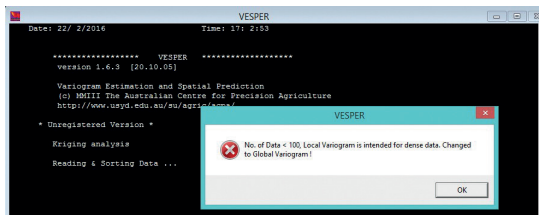
Para iniciar a execução é necessário o clicar no botão operacional **“Run Kriging Program”** da janela principal como descrito no Item 4.2 (Figura 4.7). A janela de execução em tempo real é automaticamente ativada e inicia o processamento caso todas as definições estejam bem definidas (Figura 6.5). No lado esquerdo da janela o cálculo e ajuste do variograma acontece dinamicamente em modo local para cada grupamento de vizinhos dos pontos da grade de interpolação, e

em modo global apresenta um variograma estático como ajustado na sub-janela “**Variogram Model**” para todos os pontos observados. Do lado direito no topo é apresentada a janela móvel da krigagem com ajuste local, onde o ponto azul claro representa o local da grade de interpolação sendo computado, e a núvem de pontos em magenta o agrupamento de vizinhos dentro do raio de busca. No modo global, a grade amostral é representada por pontos fixos em magenta. Na parte inferior do lado direito, o mapa resultante da krigagem vai sendo construído ponto a ponto na resolução da grade de interpolação com o valor estimado da variável em análise, representado por uma legenda distribuída entre valores mínimos, em vermelho, e máximos, em azul. Ao fim o usuário é indagado se deseja abrir a janela de apresentação dos resultados com o mapa da predição dos valores e do erro associado as estimativas.

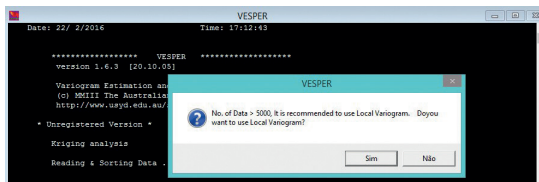
Quando os arquivos de entrada têm mais de 5.000 registros, as funções de predição espacial são facilitadas com a opção de krigagem utilizando o ajuste de variogramas locais. Nada impede que o modo local seja usado com acervos de dados em alta densidade, apenas resultando numa interpolação mais suavizada. Já o inverso não é viável, pois arquivos com um número limitado de registros não propiciarão um número de vizinhos suficientes para permitir estimativas locais. Durante a execução da krigagem, o Vesper emite uma janela de alerta nestes dois casos. Para arquivos com menos de 100 pontos (Figura 6.6), restringindo a krigagem de se o modo local estiver selecionado e indicando o uso do modo global. Para arquivos com mais de 5000 pontos (Figura 6.7), sugerindo o uso do modo local se o modo global estiver selecionado.



**Figura 6.5.** Sub-janela de krigagem com dados em alta densidade amostral, apresentando o ajuste dinâmico de variogramas locais a esquerda e, a direita, o ponto sendo estimado em azul, o agrupamento de vizinhos em magenta e o mapa das estimativas atualizado em tempo real.



**Figura 6.6.** Janela de alerta restringindo a krigagem em modo local para arquivos com menos de 100 observações, neste caso indicando o uso do modo global



**Figura 6.7.** Janela de alerta sugerindo a krigagem em modo local para arquivos com mais de 5000 observações.