PROGRAMA

1 - INTRODUÇÃO

2 - FORMALISMO DA INDICATRIZ

2.1 - Introdução
2.2 - Morfologia geoestatística. Estruturas bifásicas
2.3 - Morfologia geoestatística. Estruturas multifásicas
2.4 - Krigagem da indicatriz
2.5 - Classificação (binarização)
2.6 - Avaliação da incerteza local
2.7 - Estimadores baseados nas distribuições locais

3 - ANÁLISE FACTORIAL DAS CORRESPONDÊNCIAS

3.1 - Introdução
3.2 - Correspondências binárias
3.3 - Correspondências múltiplas

4 - GEOESTATÍSTICA MULTIVARIADA

4.1 - Introdução
4.2 - Variogramas e Covariâncias Cruzadas
4.3 - Cokrigagem simples e ordinária
4.4 - Cokrigagem co-localizada
4.5 - Outras variantes da cokrigagem
4.6 - Krigagem com deriva externa estacionária
4.7 - Análise geoestatística de dados

PROGRAMA

5 - GEOESTATÍSTICA NÃO ESTACIONÁRIA

5.1 - Introdução
5.2 - Variogramas brutos e dos resíduos
5.3 - Krigadem universal
5.4 - Krigagem com deriva externa não estacionária
5.5 - Krigagem universal com deriva externa

BIBLIOGRAFIA

Goovaerts, P. (1997) – *Geostatistics for Natural Resources Characterization*. Oxford University Press, 483 pp.

Isaaks, E. H. & Srivastava, R. M. (1989) - *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York, 561 pp.

Journel, A. & Huijbregts, Ch. J. (1978) - *Mining Geostatistics*. Academic Press, London, 600 pp..

Kitanidis, P. K. (1997) - Introduction to Geostatistics. Applications in Hydrogeology. Cambridge University Press, 249 pp.

Cressie, N. (1991) - *Statistics for spatial data analysis*. Wiley-Interscience, 900 pp.

Soares, A. (1998) – Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente, IST.

Sousa, A. J. (1989) - *Geoestatística Multivariada*, LMPM/IST, Lisboa, 15 pp.

Wackernagel, H. (1995) – *Multivariate Geostatistics*. Springer-Verlag, Berlim, 256 pp.

MORFOLOGIA GEOESTATÍSTICA

Seja um campo geométrico onde se podem definir K diferentes corpos indiciados em k=1,…,K. Pretende-se estimar a forma de cada um dos corpos a partir de um conjunto discreto de amostras.

Exemplos:

- Estimar as fronteiras das várias litologias presentes em determinada região;
- Estimar as zonas de elevada permeabilidade de uma determinada formação;
- Estimar a área geográfica onde o teor em determinado poluente é superior ao limiar de risco.

Cada corpo pode ser caracterizado por uma variável indicatriz, interpretada em cada ponto de coordenadas x, como a probabilidade de esse ponto pertencer ao corpo.

FORMALISMO DA INDICATRIZ

ESTRUTURAS BIFÁSICAS

Seja um campo geométrico D constituído por duas fases X e X^c ($D = X \cup X^c$).

$$I(x) = \begin{cases} 1 & \forall x \in X \\ 0 & \forall x \in X^c \end{cases}$$

A variável indicatriz $I(x)$ pode ser tomada como uma V.R. caracterizada pelos 2 primeiros momentos:

$$E\{I(x)\} = m_I = p_I$$

$$\sigma_I^2 = m_I(1 - m_I)$$

$$C_I(h) = E\{I(x)\, I(x + \mathbf{h})\} - m_I^2$$

$$\gamma_I(h) = \frac{1}{2} E\left\{\left[I(x) - I(x + \mathbf{h})\right]^2\right\}$$

FORMALISMO DA INDICATRIZ

ESTRUTURAS BIFÁSICAS

Seja $J(x)$ a variável complementar de $I(x)$:

$$J(x) = \begin{cases} 0 & \forall x \in X \\ 1 & \forall x \in X^c \end{cases}$$

RELAÇÃO ENTRE $I(X)$ E $J(X)$

$$J(x) = 1 - I(x)$$

$$E\{J(x)\} = m_J = 1 - m_I$$

$$\sigma_J^2 = m_J(1 - m_J) = (1 - m_I)m_I = \sigma_I^2$$

$$C_J(\mathbf{h}) = E\{J(x)\,J(x+\mathbf{h})\} - m_J^2 = C_I(\mathbf{h})$$

$$\gamma_J(\mathbf{h}) = \frac{1}{2}E\left\{\left[J(x) - J(x+\mathbf{h})\right]^2\right\} = \gamma_I(\mathbf{h})$$

KRIGAGEM DA INDICATRIZ

- estimador linear

$$I^*(x_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \, I(x_i)$$

- estimador não enviesado

$$E\left\{I^*(x_0)\right\} = E\{I(x_0)\} = m_I$$

KRIGAGEM DA INDICATRIZ

- estimador de variância mínima

$$\sigma_k^2 = \min\left(\sigma_e^2\right) = \min E\left\{\left[I^*(x_0) - I(x_0)\right]^2\right\}$$

- sistema de krigagem

$$\begin{cases} \sum_j^n \lambda_j \overline{\gamma_I}(x_i, x_j) + \mu = \overline{\gamma_I}(x_i, x_0) \ , \ i = 1,\ldots,n & \Rightarrow n \text{ equações} \\ \sum_j^n \lambda_j = 1 & \Rightarrow 1 \text{ equação} \end{cases}$$

NOTA: Os valores estimados não variam, necessariamente, entre 0 e 1.

FORMALISMO DA INDICATRIZ

ESTRUTURAS MULTIFÁSICAS

Seja um campo geométrico D constituído por K fases X_k. Para cada fase pode-se definir uma indicatriz

$$I_k(x) = \begin{cases} 1 & \forall x \in X_k \\ 0 & \forall x \in X_k^c \end{cases}$$

Cada indicatriz $I_k(x)$ pode ser tomada como uma V.R. caracterizada pelos 2 primeiros momentos:

$$E\{I_{I_k}(x)\} = m_{I_k} = p_k$$

$$\sigma_{I_k}^2 = m_{I_k}(1 - m_{I_k})$$

$$C_{I_k}(h) = E\{I_k(x)\, I_k(x+\mathbf{h})\} - m_{I_k}^2$$

$$\gamma_{I_k}(h) = \frac{1}{2} E\left\{\left[I_k(x) - I_k(x+\mathbf{h})\right]^2\right\}$$

CLASSIFICAÇÃO (BINARIZAÇÃO)

Estruturas bifásicas

Ordenar, por ordem crescente, os valores estimados das indicatrizes (probabilidades). Classificar os m_I valores mais elevados em 1 e os restantes classificar como 0.

Estruturas multifásicas

Ordenar, por ordem crescente, os valores estimados das indicatrizes (probabilidades). Para cada indicatriz, classificar os p_I valores mais elevados em 1 e os restantes classificar como 0. Se um ponto for classificado simultaneamente em 2 fases (classes) distintas, deve ser afectado à classe com valor de probabilidade estimada mais elevada.

AVALIAÇÃO DA INCERTEZA LOCAL

VARIÂNCIA DE ESTIMAÇÃO (KO)

Para cada valor estimado, estabelecer um intervalo de confiança, para determinado nível de confiança:

$$\Pr ob\left\{Z(x_0) \in \left[Z^*(x_0) - 2\sigma_k ; Z^*(x_0) + 2\sigma_k\right]\right\} = 0.95$$

Pressupostos:

- Os erros de estimação $Z(x_0) - Z^*(x_0)$ são gaussianos (ou, pelo menos, simétricos);
- A variância de estimação $2\sigma_k$ é independente dos valores amostrais.

ESTIMAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES LOCAIS (KI)

FORMALISMO DA INDICATRIZ

ESTIMAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES LOCAIS

- Dividir a variável em K intervalos;
- Em cada uma das amostras, construção de K indicatrizes $I_k(x)$; em cada amostra, estas indicatrizes modelam a lei de distribuição local;
- Em cada ponto x_0, estimação das K indicatrizes $I_k^*(x_0)$;
- Construção das distribuições locais, a partir das indicatrizes estimadas;
- Construção de estimadores (Tipo-E) e intervalos de confiança.

Problemas

- Inversão das relações de ordem;
- Nº de variogramas a modelar (K); variograma da mediana